

München, 1960.

**Vergleichende stallklimatische Untersuchungen
in Rinder- und Schweineställen
der oberrheinischen Tiefebene
mit besonderer Berücksichtigung
der Abkühlungsgröße**

Heinz Krüger

Aus dem Tierhygiene-Institut der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München
Vorstand: Professor Dr. A. M e y n

VERGLEICHENDE STALLKLIMATISCHE UNTERSUCHUNGEN
IN RINDER- UND SCHWEINESTÄLLEN
DER OBERRHEINISCHEN TIEFEBENE
MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
DER ABKÜHLUNGSGRÖSSE

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung der veterinär-medizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von

H e i n z K r ü g e r , Tierarzt

aus

Ottenheim/Kreis Lahr

München 1960

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Professor Dr. K. Zipf

Referent: Professor Dr. A. Meyn

Tag der Promotion: 27. Juli 1960



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung	1
II. Schrifttum	2
III. Eigene Untersuchungen	12
A. Allgemeine Verhältnisse im Untersuchungsgebiet	12
a) Klima	12
b) Landwirtschaftliche Struktur und allgemeine Stallverhältnisse	12
c) Wetterlage im Untersuchungszeitraum	14
B. Meßmethoden und Instrumente	15
a) Polymeter	18
b) Katathermometer	19
c) Gasspürgerät	20
IV. Besprechung der Ergebnisse	27
A. Abkühlungsgröße und Windgeschwindigkeit	31
B. Begleituntersuchungen	47
V. Zusammenfassung	65
VI. Literaturverzeichnis	68
VII. Lebenslauf	75

ZEICHENERKLÄRUNG ZU DEN TABELLEN

GVE	=	Großvieheinheiten
FF	=	Fensterfläche in m^2
FF/BF	=	Verhältnis: Fensterfläche zu Bodenfläche
AT	=	Außentemperatur in $^{\circ}C$
IT	=	Innentemperatur in $^{\circ}C$
AF	=	relative Feuchtigkeit der Außenluft in %
IF	=	relative Feuchtigkeit der Stallluft in %
Ak	=	Abkühlungsgröße in $mcal/cm^2sec$
v	=	Windgeschwindigkeit in m/sec
As	=	Abluftschacht
Eh	=	Entlüftungshaube
Bet	=	Beton
Bst	=	Backstein (Ziegelstein)
Gwb	=	Ziegelgewölbe mit Eisenträgern
Hbl	=	Hohlblocksteine
Hd	=	Hourdis (Hohlziegel)
Hz	=	Holz
Pfl	=	Pflastersteine
Sta	=	Stallit - Estrich oder Platten
Ste	=	Steinit - Estrich oder Platten
Sst	=	Sandstein (Natursteine)
Tpl	=	hartgebrannte Tonplatten (Sammelbegriff)
A _R	=	Punkt A im Rinderstall
B _R	=	Punkt B im Rinderstall
B _S	=	Punkt B im Schweinestall
C _S	=	Punkt C im Schweinestall

I. EINLEITUNG

Die Bemühungen, die subjektive Beurteilung eines Raumklimas durch objektive Meßmethoden zu ersetzen, führten in den letzten Jahrzehnten auch in der Veterinärmedizin zur Anwendung verschiedener Instrumente, die es erlauben, einzelne Komponenten des Stallklimas zahlenmäßig zu erfassen.

Der Messung der sogenannten Abkühlungsgröße mit Hilfe des Katathermometers und ihrer Eignung zur Beurteilung des Stallklimas wurde bisher jedoch wenig Beachtung geschenkt.

Mir wurde von Herrn Professor Dr. A. M e y n , Leiter des Tierhygienischen Instituts, die Aufgabe gestellt, in Rinder- und Schweinestallungen des Kreises Lahr in Baden vergleichende Untersuchungen auf Abkühlungsgröße und Windgeschwindigkeit mit Berücksichtigung von CO_2 -Gehalt, Feuchtigkeit, Temperatur und Belüftung durchzuführen. Außerdem sollte ich im Rahmen dieser Untersuchungen eine verbesserte Röhrentype des Draeger'schen Gasspürgerätes in der Praxis prüfen.

II. SCHRIFTTUM

Die Erforschung des Stallklimas ist in verschiedenen Etappen vor sich gegangen. Die ersten Untersuchungen durch *Schulze* und *Märker* (32) und *Vollrath* (39) in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts befaßten sich hauptsächlich mit der chemischen Zusammensetzung der Luft. *Süpfle* (36) und seine Schule vervollständigten die Untersuchungsmethoden. *Hoffmann* (12) und *Deutsch* (6) stellten hauptsächlich die Beziehungen zwischen Lüftung und Beschaffenheit der Stallluft heraus. Eine andere Gruppe von Autoren bemühte sich um eine Bestandsaufnahme von Stallungen, wobei sie besonders bautechnische Einzelheiten berücksichtigte und auch Beziehungen zwischen Gesundheitszustand, Haltung, Bauweise und dergleichen herstellte.

Zwischen den beiden Weltkriegen begann man, für klimatische Einzelfaktoren Interesse zu zeigen. *Zwicky* (41), *Lehmyer* (16), *Goldinger* (10) und andere stellten korrespondierende Größen wie Feuchtigkeit, Temperatur und Belichtung zu den Leistungen der Tiere in Beziehung. 1939 wurden erstmals von *Zorn* und *Freidt* (40) die Anwendung bioklimatischer Arbeitsmethoden aus der Humanmedizin für Stall- und Klimauntersuchungen in der Veterinärmedizin vorgeschlagen. "Es sollen physikalisch definierbare Summengrößen der thermischen Umweltbedingungen geschaffen werden, die auch physiologisch vergleichbar sind."

Pfleiderer (22) teilt wegen der verwirrenden Fülle einzelne Klimafaktoren in Wirkungskomplexe ein. Er spricht z.B. von dem "Thermischen Wirkungskomplex" als dem Summenbegriff für die trockenen Abkühlungsbedingungen. Dieser schließt die Gesamtwirkung von Lufttemperatur, Luftbewegung, Einstrahlung von Sonne und Himmel und infraroter Abstrahlung gegen die Umgebung ein.

Untersuchungen dieser Wirkungskomplexe sind viel seltener. *Staffe* (33) arbeitete 1930 erstmals mit thermischen Wirkungskomplexen. Er verglich sie mit der Hauttemperatur. Ebenso untersuchte *Schiffke* (29) die Zusammenhänge zwischen der Abkühlungsgröße und der Hauttemperatur von Rindern.

Die Untersuchung der physikalischen Faktoren des Stallklimas - besonders des thermischen Wirkungskomplexes - in ihrer Bedeutung für die Tiere steht erst am Anfang. Von diesen Faktoren ist es besonders die Abkühlungsgröße, die Beachtung verdient, denn der Schutz gegen die Abkühlungswirkung des Klimas ist der wichtigste Grund für die Stallhaltung überhaupt.

Unter der Abkühlungsgröße versteht man die von 1 cm^2 Oberfläche eines Körpers in 1 sec abgegebene Wärmemenge, ausgedrückt in $\text{mcal/cm}^2\text{sec}$. Die Wärmeabgabe hängt von der Temperaturdifferenz zur umgebenden Luft und deren Bewegung ab. Unter Vernachlässigung der Wasserverdunstung des Körpers und Luftfeuchtigkeit der Umgebung gewinnt man mit Hilfe der Abkühlungsgröße also ein relatives Maß für die Wärmeabgabe oder für die Auskühlung eines Tierkörpers.

Wie H i l l (12), der Begründer der Bioklimatologie, feststellte, geht die subjektive Wärmeempfindung des Menschen parallel mit der Abkühlungsgröße - nicht mit der Temperatur. So kann man z. B. Frostwetter bei Windstille viel angenehmer empfinden als dieselben Temperaturen bei schneidendem Wind.

Es lag also nahe, dieses Maß für die subjektive Wärmeempfindung auch in der Stallklimatologie zu verwenden, weil die bisher allein geübte Temperaturmessung die Luftbewegung, den sogenannten "Zug" nicht einschloß.

D o r n o (7) befragte einen größeren Personenkreis über seine Wärmeempfindungen bei bestimmten Abkühlungsgrößen und legte sie in folgender Tabelle fest.

Empfindung:	Abkühlungsgröße:
unangenehm kalt	20,0
kalt	15,0
angenehm kalt	12,0
kühl	10,0
angenehm kühl	7,5
angenehm warm	5,0
heiß	2,5

Da eine Befragung in der Tiermedizin nicht möglich ist, können nur durch viele Messungen der Abkühlungsgröße Durchschnittswerte ermittelt werden. Diese müßten dann im Zusammenhang mit den übrigen Werten wie Tempera-

tur, Innenfeuchte, CO_2 -Gehalt und Luftbewegung eine ähnliche Beurteilung des subjektiven Wohlbefindens der Tiere erlauben.

Z w i c k y (41) und seine Schule haben sich die ersten Verdienste für die Einbeziehung der Abkühlungsgröße in stallklimatische Untersuchungen erworben.

B u x t o r f (3) verwendete das Katathermometer zur Untersuchung von 4 Heerespferdeställen im Spätwinter. Er stellte dessen Verwendbarkeit in der stallhygienischen Meßtechnik fest und bestimmte Maximal- und Minimalwerte wie folgt:

Temperatur:	7 - 14°C
Abkühlungsgröße:	7 - 10, 5
Behaglichkeitsziffer:	0, 8 - 1, 8
Windgeschwindigkeit:	0, 06 - 0, 2 m/sec
Relative Feuchte:	78 ‰

Da keine Erfahrungen vorlagen, setzte er die Grenzwerte auf Grund subjektiver Empfindungen und der Aussagen der Truppe fest. Über die Unzulänglichkeit dieser Methode war er sich im klaren.

F u h r i m a n n (9) machte im Winter in 8 verschiedenen gebauten Rinderstallungen unter verschiedenen Lüftungsbedingungen 600 Katathermometermessungen. Er hält die Bestimmung der Abkühlungsgröße für einen wertvollen Anhaltspunkt bei der Beurteilung des Stallklimas. Allerdings sei eine klimatische Bewertung der Abkühlungsgröße ohne Berücksichtigung der anderen Faktoren Feuchte und Windverhältnisse nicht angängig. Dies deckt sich mit der Meinung von C e n a und C o u r v o i s i e r (4) und S c h o l z und P e c h e r t (30).

Für Rinderställe hat B u x t o r f (3) folgende Grenzwerte bestimmt:

Temperatur:	10 - 15°C
Abkühlungsgröße:	7 - 9, 5
Luftgeschwindigkeit:	0, 10 - 0, 16 m/sec
Relative Feuchte:	80 ‰

C e n a und C o u r v o i s i e r (4) haben die durchschnittlichen Abkühlungsgrößen im Freien zu denjenigen im Stall in Beziehung gesetzt. Sie fanden, daß das Verhältnis beider Abkühlungsgrößen annähernd gleich war. Geringe Schwankungen (zwischen 2, 14 und 2, 08) ergaben sich nur zwischen Tag und Nacht. Sie nannten diesen Quotienten den Wärmeschutzquotienten. Er wird in jedem Stall, je nach Baumaterial, Lage usw. verschieden sein. Als tägliche Mittelwerte von Momentanablesungen am Davoser Frigorimeter ermittelten sie in einem Stall eine Abkühlungsgröße von 4, 9 bei 16, 3°C Mitteltemperatur während des Tages. Dieser Wert erscheint sehr niedrig.

C e n a und C o u r v o i s i e r (4) glauben, daß auch mit einfachen Kathernometern dieser Wärmeschutzquotient ausreichend bestimmt werden kann, wenn nur eine genügend große Zahl von Messungen gemacht wird. Auf Grund ihrer eigenen Angabe, daß ein Kathernometer im Freien ca. 25 % zu viel anzeige, und der von B r a d t k e (2) festgestellten Ungenauigkeit im Freien, sowie meiner Erfahrungen möchte ich dies bezweifeln. Sofern fortlaufende lokale Registrierungen der Abkühlungsgrößen vorhanden sind, dürfte der für die Berechnung von Stallungen nicht uninteressante Wärmeschutzquotient leicht zu bestimmen sein.

Voraussetzung dafür ist allerdings die Kenntnis optimaler Abkühlungsgrößen im Stall.

In der Humanmedizin hat S c h u l z e (31) parallellaufende Beziehungen zwischen Abkühlungsgröße und Hautinnentemperatur mit Sicherheit nachgewiesen.

C e n a und C o u r v o i s i e r (4) haben mit Thermoelementen festgestellt, daß Kühe an der der Wand zugewandten Körperseite um ca 2°C geringere Hauttemperaturen haben und daß von den in einer Reihe stehenden die mittleren Tiere die höchsten Hauttemperaturen aufweisen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen R u d z i n s k i (28) und S c h l i f f k e (29).

Amerikanische Forschungen am Menschen haben bewiesen, daß am Behaglichkeitsgefühl die Lufttemperatur mit 55 %, die Wandtemperatur mit 45 % beteiligt ist (zit. nach M i s e n a r d, 17). C e n a und C o u r v o i s i e r (4) stellten mit Hilfe von Thermoelementen fest, daß die Temperaturen aller die Tiere umgebenden Flächen in ihrem Falle durchschnittlich um 10° niedriger lagen als die Hauttemperaturen der Tiere. Bei Abwesenheit der Tiere sank die Wandtemperatur um weitere 3-4 Grad. Für einen starken Strahlungsaustausch

zwischen Wand und Tierkörper spricht auch meine Beobachtung, daß in einem noch nassen Neubau die einer Kuh benachbarte Wand in Form eines etwas vergrößerten Schattenrisses gut getrocknet war. Diese Erscheinungen beruhen zu einem großen Teil auf gegenseitiger Wärmeemission und -absorption. Das Katathermometer ist natürlich diesen Bedingungen ebenfalls ausgesetzt. Die relative Strahlungszahl ϵ für Temperaturstrahlung in senkrechter Richtung, das ist der Anteil der Ultrarotstrahlung an der Gesamtstrahlung, beträgt für Glas 0,876 und für lebende, unbehaarte Europäerhaut $0,954 \pm 0,004$. Über die relativen Strahlungszahlen der behaarten verschiedenfarbigen Haut der Tiere liegen m. W. keine Untersuchungen vor. Sie dürften mit größeren Schwankungen zwischen 0,95 und 0,99 liegen. Zumindest bei dunkelhaarigen Tieren dürfte das Emissionsvermögen für den langwelligen Strahlungsbereich ungefähr dem eines schwarzen Körpers gleichgesetzt werden.

Henneberger (11) hat errechnet, daß der Anteil der langwelligen Strahlung $1/3$ bis $1/4$ der Abkühlungsgröße einer im Freien aufgestellten schwarzen Frigorimeterkugel ausmachte. Die Unterschiede zwischen bedecktem und unbedecktem Nachthimmel betrugen bis 10 % der Abkühlungsgröße.

Gena und Courvoisier (4) haben untersucht, inwieweit das von ihnen benützte Davoser Frigorimeter (geschwärzte Kupferkugel) durch ultrarote Abstrahlung von den Wänden und Decken, sowie von der Haut der Tiere zusätzlich zu der Abkühlung durch die umgebende Luft beeinflußt wird. Zum Vergleich benützten sie, nach der Methode von Rose (27), eine vernickelte Frigorimeterkugel, die im ultraroten Strahlungsbereich eine geringe Absorption besitzt (10 %), während das von ihnen benützte schwarze Frigorimeter im gleichen Bereich etwa 85 % der Absorption und Emission eines absolut schwarzen Körpers besitzen soll. Als Durchschnittswerte mehrwöchiger Untersuchungen fanden sie für das schwarze Frigorimeter eine Abkühlungsgröße von 5,4, für das vernickelte 3,4. Die Werte ihrer Momentanablesungen hielten sich im selben Verhältnis, d. h. sie verliefen in den jeweiligen Schwankungen parallel.

Hier hätten sich nach meiner Meinung jedoch die Unterschiede im Absorptionsvermögen zeigen müssen.

An Hand dieser Meßdifferenzen mit vernickeltem und mit schwarzem Frigorimeter läßt sich der Einfluß der Ultrarotstrahlung in Annäherung leicht nachrechnen.

Für Abkühlungsgröße = 5,4 bei (dazugehörigen) 17°C ergibt sich für die Windgeschwindigkeit im Stall ein Wert unter 1 mm/sec (!). Für den Wert 3,4 läßt sich keine Windgeschwindigkeit ermitteln. Löst man jedoch die modifizierte Hill'sche Formel für $v \approx 0$ $A_k = 0,22 (36,5 - t)^{1,06}$ nach t auf, so ergibt sich aus

$$t = \frac{0,22 \cdot 36,5 - A_k}{0,22} \text{ (angenähert)}$$

für $A_k = 5,4$	$t \approx 12^\circ\text{C}$	Mittelwert = $16,5^\circ\text{C}$
für $A_k = 3,4$	$t \approx 21^\circ\text{C}$	

Das schwarze Frigorimeter gibt also infolge der Beeinflussung durch Infrarotstrahlung im Stall einen Wärmeverlust an, der einer Lufttemperatur von ca 12° (bei $v = 0$) entsprechen würde, während das vernickelte Frigorimeter auf eine Lufttemperatur von 21°C ansprechen würde.

Wegen dieser Unterschiede ist besonderer Wert darauf zu legen, daß von allen Untersuchern absolut gleiche Instrumente benützt werden, um vergleichsfähige Werte zu erhalten. Dazu gehören auch Oberflächengüte des Glases und Farbe der Flüssigkeit. B r a d t k e (2) empfiehlt zur Füllung Quecksilber, weil dem Alkohol bestimmte physikalische Eigenschaften anhaften, die zu abweichenden Ergebnissen führen. Quecksilber hat eine größere Wärmeleitzahl als Alkohol. Veränderungen der Temperatur der Quecksilberoberfläche werden also schneller ins Innere weitergeleitet und wirken sich damit auch schneller auf die Bewegung der Flüssigkeitssäule im Katathermometer aus. Deswegen ist es auch falsch, zur Beschleunigung des Meßvorganges das Instrument nur so weit zu erhitzen, daß die Flüssigkeitssäule eben an den oberen Strich herankommt, um dann gleich wieder abzufallen. Eine gleichmäßige Erwärmung des Alkohols ist erst eingetreten, wenn die obere Blase zu einem Drittel bis zu einer Hälfte gefüllt ist.

Wegen der schwächeren Wärmeleitfähigkeit sprechen also mit Alkohol gefüllte Katathermometer weniger schnell auf kurze Schwankungen entweder der Temperatur oder vor allem der Luftbewegung an. Sie kommen also nicht im selben Maße in der Abkühlungsgröße zum Ausdruck wie beim quecksilbergefüllten In-

strument. Da sich die Messungen in der Praxis jedoch über einen Zeitraum von ca 35 bis 80 Sekunden erstrecken, dürften sich, besonders bei mehrmaligen Wiederholungen, diese Spitzenschwankungen nach oben und unten ausgleichen, so daß sich diese Unterschiede in der Praxis nicht wesentlich auswirken werden.

Um zu klären, ob eine Quecksilberfüllung dem Effekt einer Versilberung der Oberfläche nahekommen könnte, habe ich folgenden Versuch unternommen, den ich in diesem Zusammenhang erwähnen möchte:

Vor einem Infrarotstrahler von 500 Watt habe ich ein alkoholgefülltes Katathermometer in einer solchen Entfernung aufgestellt (22 cm), daß sich die Flüssigkeitssäule am oberen Strich, d.h. bei 38°C eingependelt hat. Zwei Thermometer mit sehr verschieden großer Quecksilbermenge stellte ich nahe dem Katathermometer und in derselben Entfernung von der Wärmequelle auf. Sie zeigten eine Temperatur von 29°C an.

Dieser Versuch spricht dafür, daß nicht nur die - in diesem Falle gleiche - Gefäßoberfläche aus Glas für die Ultrarotabsorption verantwortlich ist. Es wäre also von einem quecksilbergefüllten Katathermometer wiederum eine andere Abkühlungsgröße zu erwarten als von einem versilberten oder von einem alkoholgefüllten.

In der Abkühlungsgröße muß aber nach meiner Meinung die Wirkung einer Ultrarotstrahlung zum Ausdruck kommen, weil ja dadurch das Behaglichkeitsgefühl mit beeinflußt wird. Man denke nur an das Aneinanderrücken der Tiere bei Kälte oder die Wirkung eines angewärmten Fußbodens in einem kalten Raum. Das alkoholgefüllte unversilberte Instrument erfüllt diese Bedingung annähernd.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei der Bestimmung der Windgeschwindigkeit mit Hilfe der Abkühlungsgröße. Den für das trockene Katathermometer aufgestellten Formeln liegt die Annahme zugrunde, daß die Temperatur der umgebenden Luft (t_L) mit derjenigen der umgebenden Flächen (t_U) übereinstimmt ($t_L = t_U$). Sind störende Strahlungseinflüsse vorhanden, von kalten Wänden, Heizungen, Tieren, so kann man die Stärke der Luftbewegung nicht mehr genau genug ermitteln (Bradtke). Die Einflüsse sind durch Oberflächenversilberung, wie schon erwähnt, zu 90 % auszuschalten. Weicht also t_U von t_L ab, wird die Luftbewegung mit dem versilberten Gerät genauer gemessen,

weil der Strahlungsanteil der Wärmeabgabe durch die Versilberung auf $1/9$ des Betrages herabgesetzt wird. Die Fehlerquellen sind auf Grund der Beziehung $v=k \cdot (Ak)^2$ -a bei geringen Luftgeschwindigkeiten oder bei großen Differenzen zwischen t_U und t_L ungleich größer.

Für die genaue Bestimmung kleinster Windgeschwindigkeiten wäre also ein versilbertes quecksilbergefülltes Katathermometer dem einfachen vorzuziehen.

Es würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, der theoretischen Erörterung vergleichende Untersuchungen folgen zu lassen. Die Festlegung von Fehlergrenzen und verbesserten Methoden bleibe weiteren Arbeiten vorbehalten.

Erwähnenswert ist die Verwendbarkeit des Katathermometers für die Feststellung der mittleren Temperaturen sämtlicher umgebender Innenflächen eines Raumes (Decke, Wände, Boden, Tiere, Mobiliar usw.). Sie kann auf Grund der bereits erwähnten unterschiedlichen Infrarotempfindlichkeit des versilberten und des einfachen Katathermometers bestimmt werden. Nimmt man an, daß um beide Instrumente gleiche Lufttemperaturen und -geschwindigkeiten herrschen, so ist die Differenz der Abkühlungsgrößen ($\triangle Ak = Ak_{\text{einf.}} - Ak_{\text{versilb.}}$) allein durch die Unterschiede im Wärmestrahlungsaustausch begründet.

Aus dieser Differenz kann unter Anwendung des Stefan-Boltzmann'schen Strahlungsgesetzes die mittlere Temperatur t_U der umgebenden Flächen berechnet werden (absolute Temp.). Die Ableitung der zu benützenden Formeln kann in der Arbeit von R o o s e (27) ersehen werden.

Danach erhält man als Berechnungsformel für

$$t_U = 100 \sqrt[4]{91,76 - \frac{\triangle Ak}{0,107}} - 273$$

und nach Ausrechnung folgende Werte:

t_U	0°	3°	6°	9°	12°	15°	18°	21°
$\triangle Ak$	3,88	3,61	3,34	3,05	2,76	2,46	2,14	1,82

In der Gebrauchsanweisung für das Katathermometer wird besonders auf sorgfältiges Abtrocknen nach der Erwärmung im Wasserbad hingewiesen. Dies ist besonders wichtig, weil nach B r a d t k e (2) durch Messung im nassen Zustand Abweichungen um das Dreifache auftreten können. Es wurde von mehreren Autoren versucht, eine Beziehung zwischen sogenannten trockenen und feuchten Katawerten zu finden.

C e n a und C o u r v o i s i e r (4) fanden eine beträchtliche Konstanz der Verhältniszahlen, die ihre Verwendung zur Charakterisierung von Raumklimaunterschieden zu empfehlen scheint.

Eine eingehende Diskussion an Hand einer größeren Zahl von Beobachtungen erscheint ihnen empfehlenswert. Die Untersuchungen von L e h m a n n (15) und R o b i t z s c h (25) führten zu keinen allgemeingültigen Ergebnissen.

Mir scheint die Verwendung eines mit Musselin umhüllten angefeuchteten Katathermometers zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit keinen wesentlichen Vorteil zu bringen. Diese Methode unterliegt denselben Unzulänglichkeiten wie z. B. das Psychrometer nach August, das nur bei Windgeschwindigkeiten über 1 m/sec zur genauen Feuchtebestimmung verwendet werden kann.

Bei der Bewertung der Abkühlungsgröße muß folgendes in Betracht gezogen werden: Die Abkühlungsgröße ist eine Funktion der Temperatur und der Quadratwurzel der Windgeschwindigkeit. Sie nähert sich also in Form einer Parabel dem Punkt Null. Eine Veränderung der Abkühlungsgröße von 5 auf 6 entspricht also einer größeren Temperatur- oder Windgeschwindigkeitsänderung als ein Ansteigen von z. B. 12 auf 13. Dies kann sich dahingehend äußern, daß die Werte der Abkühlungsgröße im Sommer gedrängter liegen als im Winter, was bei der Bewertung berücksichtigt werden muß.

Eng zusammen mit der Luftströmung im Stall und deren Temperatur hängt auch der Begriff "Zugluft".

Man versteht darunter eine feine Luftbewegung, die auf eine umschriebene Stelle der Körperoberfläche einen einseitigen Abkühlungsreiz ausübt. Sie übt nach B r a d t k e (2) im geschlossenen Raum stets einen ungünstigen Einfluß auf den menschlichen Organismus aus, und eine ausgesprochene Abhärtung dagegen ist kaum zu erreichen.

Ihre Definition mit Hilfe der Abkühlungsgröße harrt noch der Lösung.

Die Luftbewegung an sich wirkt nach **Scholz** und **Pechert** (30) als thermischer und mechanischer Hautreiz. In Massivställen sind diese in der richtigen Dosis anregend wirkenden Eigenheiten der Luftströmung aber aufgehoben. Man versucht darum heute die natürlichen Reize des Windes durch die Impulslüftung im Stall nachzuahmen.

Inwieweit der thermische Wirkungskomplex an den konstitutionsbessernden Wirkungen der Freiland- und der Offenstallhaltung beteiligt ist, muß Gegenstand weiterer Forschungen sein. Sicherlich spielt hier auch der Strahlenkomplex eine besondere Rolle.

Der Aufschwung der Bioklimatologie hat eine stärkere kurort- und bäderhygienische Beachtung der Abkühlungsgröße mit sich gebracht. Gleichzeitig erfolgten auch Verbesserungen der Geräte. Es ist deshalb in zunehmendem Maße, besonders in der Nähe von Kurorten, mit dem Vorhandensein von meteorologischen Werten der Abkühlungsgröße zu rechnen. Dies ist von Bedeutung, weil die Ermittlung der durchschnittlichen Abkühlungsgröße des Außenklimas mit dem einfachen Katathermometer nicht oder nur sehr unvollkommen gelingt.

Hier einige von **Berg** (1) angegebenen Monatsmittelwerte der Abkühlungsgröße, gemessen mit dem Frigorimeter in Karlsruhe in den Jahren 1926/27.

			Weidezeit									
F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
12,5	18,3	12,3	9,9	9,6	9,0	6,9	8,3	15,5	14,4	26,0	20,8	19,6

Wenn auch wegen der räumlichen und zeitlichen Entfernung kein absoluter Vergleich mit den von **Buxtorf** (3), **Fuhrmann** (9) und mir erhaltenen Werten möglich ist, kann doch ersehen werden, daß in den Weidemonaten Mai bis September die Abkühlungsgröße im Rahmen derjenigen liegt, die bei winterlicher Stallhaltung gefunden wurden.

Innerhalb der Grenzen der regionalen, durchschnittlichen Abkühlungsgröße während der Weidezeit dürfte also das Optimum für die Stallhaltung im Winter liegen.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. Allgemeine Verhältnisse im Untersuchungsgebiet

Die eigenen Untersuchungen wurden in der oberrheinischen Tiefebene, und zwar in den Gemeinden meiner Praxis im Landkreis Lahr durchgeführt. Das Gebiet ist ehemaliges Überschwemmungsland des Rheins. Große Teile des Rheinvorlandes konnten erst nach der Rheinregulierung für den Ackerbau gewonnen werden. Der Boden weist eine ca 50 cm dicke Sand- oder Tonschicht auf kiesiger Unterlage auf.

a) Das Klima. Es ist gekennzeichnet durch häufige warme Winde, die, aus dem Rhonetal kommend, durch die burgundische Pforte in die Rheinebene einfallen und ist somit sehr mild. Ganz in der Nähe liegt der Kaiserstuhl mit dem wärmsten Ort Deutschlands.

Bedingt durch die Tümpel und stillen Flußarme des Rheinvorlandes kamen noch vor 60 Jahren Malaria und Typhus häufig vor. Heute leiden Mensch und Tier unter den schwülen Wetterlagen, die hier sehr ausgeprägt sind. Der Prozentsatz der Asthmatiker und der dämpfigen Pferde ist auffallend hoch.

Einige meteorologische Daten:

durchschnittl. Niederschlagsmenge: jährlich 700 bis 800 mm

Jahresmitteltemperatur: + 9 bis + 10°C

Winterdurchschnittstemperatur:

(20. Dez. bis 20. Febr.) + 2 bis + 3°C

b) Landwirtschaftliche Struktur und allgemeine Stallverhältnisse.

Die landwirtschaftliche Struktur ist durch reinen Ackerbau und Pflanzung von Sonderkulturen - hier Tabak - bestimmt. Die mittlere Betriebsgröße liegt zwischen 3 und 5 Hektar. Sie zwingt zu einer äußerst intensiven Bebauung. Entsprechend der Hektarzahl ist der durchschnittliche Viehbestand mit etwa 5 GVE zu veranschlagen. Die Tiere werden ausschließlich im Stall gehalten. In meiner Praxis gibt es nur 2 Betriebe mit teilweisem Weidegang. Das hier hauptsächlich gehaltene Höhenfleckvieh wird von vielen kleinbäuerlichen Be-

trieben noch als Zugvieh benützt, womit die weit auseinanderliegenden Parzellen bewirtschaftet werden. Reine Abmelkwirtschaften gibt es nicht.

Die D ö r f e r sind als Haufendörfer, die Gehöfte nach dem fränkischen Typ angelegt. Die Hofraite ist zum Teil so klein, daß keine Vergrößerungsmöglichkeiten bestehen. So wurden fast alle im Krieg zerstörten landwirtschaftlichen Gebäude auf den alten Grundrissen wiederaufgebaut. Modernisierungen wurden nur in der inneren Anlage durchgeführt. Da außerdem jede Generation mehr oder weniger einschneidende Veränderungen an den Ökonomiegebäuden vorgenommen hat, findet sich eine Vielzahl von Einrichtungen und Bauweisen.

Die S t ä l l e haben folgendes Grundschema gemeinsam: Eine sogenannte Stallgasse hinter den Tieren, eine niedere Futterkrippe aus Zement und der sogenannte Futtergang, in dem meist die Häcksel- und die Rübenmaschine stehen und in dem im Winter einige Tagesrationen Rüben aufgewärmt werden. Im "warmen" Futtergang wird auch gern Tabak gebündelt.

Größere Stallungen haben links und rechts des Futterganges Standplätze, so daß die Tiere mit den Köpfen gegeneinander stehen.

Wegen des milden Klimas und der relativ kleinen Ställe wird kein Wert auf komplizierte Ent- oder Belüftungsanlagen gelegt. Übereinstimmend werden dazu die Oberlichter der Fenster und das sogenannte Heuloch benützt.

Dieses Heuloch ist eine Aussparung in der Decke des Futterganges von fast einheitlicher Größe (ca. $0,80 \text{ m}^2$).

Zusätzlich sind unter der Decke an den Außenwänden 2-8 Tonröhren ($\varnothing = 10 \text{ cm}$) angebracht, die im Winter aber meist mit Stroh verstopft sind.

In fünf Dörfern mit zusammen 3000 Stück Großvieh kenne ich 6 Rinder- und 4 Schweineställe mit Schachtentlüftung, wovon jedoch nur 4 zufriedenstellend funktionieren.

Die Schweineställe werden seit dem Krieg zunehmend modernisiert. Allgemein üblich waren bisher die ebenerdigen, fensterlosen Schweinekoben, die aus großen Sandsteinplatten zusammengefügt sind. Fünf bis sechs solcher Koben mit einer Grundfläche von ca 3 m^2 standen meistens zwischen der Wohn- und Futterküche und der Rinderstallung unter einem sogenannten "Vorschopf". Pro Koben wurden etwa zwei Schweine gehalten und vom Freien her gefüttert. Im Winter konnte in den sich allmählich durchnässenden Sandsteinwänden natürlich keine Wärme aufkommen, weshalb Mutterschweine mit Ferkeln im Rinderstall gehalten wurden.

Da über die Unzweckmäßigkeit dieser Koben keine Zweifel bestehen und sie zum allmählichen Aussterben verurteilt sind, habe ich sie für meine Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Die neuerbauten Schweineställe werden meist unter dem "Vorschopf" mit einem Mittelgang und seitlichen Buchten angelegt. Die Trennwände bestehen aus Backsteinen oder senkrechten Lattengittern. Erst in den neuesten Ställen findet sich die dänische oder eine andere arbeitssparende Art der Aufstellung.

Die Lüftung erfolgt wie in den Kuhställen durch Fenster und Tonröhren unter der Decke. Wenige Ställe haben doppelte Kippfenster aus Drahtglas im Betonrahmen.

Im Winter sind im allgemeinen sämtliche Ritzen und Löcher zugestopft, die Türen zum Teil mit Strohballen zugestellt. Nur in einem Stall fand ich ein Thermometer, das zudem falsch anzeigte.

c) Wetterlage während der Messungen: Die ersten Untersuchungen wurden im Dezember bei Spätherbstwetter und dementsprechend hoher Luftfeuchte mit Nebelneigung durchgeführt, während das Klima im Januar unter dem Einfluß trockener kontinentaler Kaltluft stand. Der Februar war im Verhältnis zu warm. Er brachte Vorfrühlingswetter.

25 Rinder- und 6 Schweineställe wurden bei Temperaturen unter 0°C gemessen.

Ab 9. 1. 1960 habe ich jeweils auch die mittlere Abkühlungsgröße und die Windgeschwindigkeit im Freien bestimmt.

Folgende Zusammenstellung erläutert die Wetterlage an den einzelnen Untersuchungstagen:

- 8. 12. 59 bedeckt, Nieselregen, windstill, $+ 4^{\circ}\text{C}$
- 9. 12. 59 klare Nacht, Ausstrahlungskälte, windstill, später leichte Nebelbildung. $- 1^{\circ}$ bis $- 2^{\circ}\text{C}$
- 10. 12. 59 Hochnebel, leicht windig, $- 1^{\circ}\text{C}$
- 8./9. 1. 60 leichtes Schneetreiben, NW Wind $+ 1^{\circ}$ bis $+ 2^{\circ}\text{C}$
- 9./10. 1. 60 schneidender NW Wind $- 5^{\circ}\text{C}$ (Ak = 46, $4.v = 4,3$ m/sec)
- 15./16. 1. 60 10 cm Schnee, schwacher NO Wind, klar $- 10^{\circ}$ bis $- 13^{\circ}\text{C}$
(Ak. = 25, $v = 0,85$ m/sec)
- 16./17. 1. 60 10 cm Schnee, schwacher NO Wind, bedeckt, $- 6^{\circ}$ bis $- 7,5^{\circ}\text{C}$
(Ak. = 19, $v = 0,2$ m/sec)
- 5./6. 2. 60 zeitweise Regen, schwacher NW Wind, $+ 4^{\circ}\text{C}$
(Ak. = 17,0, $v = 0,65$ m/sec)

6./7.2.60	bedeckt, kalter NO Wind, um 0°C (Ak. = 28,0. v = 1,85 m/sec)
12./13.2.60	windig, regnerisch, Bodenfrost, + 2° bis + 5°C (Ak. = 12,8 - 20,0. v = 0,27 - 1,2 m/sec)
13./14.2.60	bedeckt, um + 6°C (Ak. = 14,5. v = 0,47 m/sec)

* * *

B) Meßmethoden und Instrumente

Als ich im Sommer 1959 den Auftrag erhalten hatte, stallklimatische Untersuchungen unter den besonderen Verhältnissen Südbadens zu machen, ging ich zunächst in meinem Wohnort von Haus zu Haus.

Stark unterbelegte Stallungen und kleine Nebenerwerbsbetriebe ließ ich aus.

Auf einem selbstgefertigten Formular zeichnete ich zuerst den Grundriß und skizzierte die Lüftungseinrichtungen. Dann wurden die Stallmaße, das Baumaterial, der Bodenbelag, die Decke und sonstige Inneneinrichtungen notiert. Ich wählte dazu die heißesten Sommertage, um gleichzeitig vergleichende Temperatur- und Feuchtemessungen in Schweineställen vornehmen zu können.

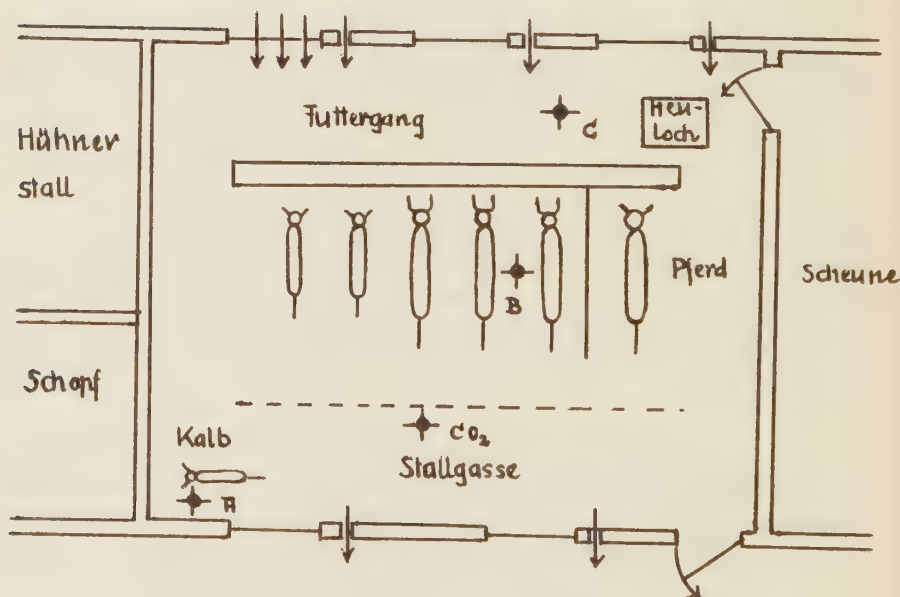
Im Winter 1959/60 unternahm ich dann die eigentlichen Messungen und vervollständigte mein Formular durch Angabe der GVE, des augenblicklichen Standes der Lüftung, der allgemeinen Stallhygiene, der Kondenswasserbildung an den Wänden und Decken und etwaiger Besonderheiten.

Mit drei Ausnahmen machte ich alle Messungen während der Nachtzeit zwischen 22 und 04 Uhr. Dies ergab sich zwangsläufig, weil ich tagsüber meine Praxis zu versorgen hatte und weil nur während der Nacht ungestörtes Arbeiten möglich war. So ergab z.B. ein zweimaliges Eintreten von Neugierigen in einen kleineren Stall eine Verminderung des CO₂-Gehaltes der Stallluft (in etwa 4 m Abstand von der Türe) um die Hälfte. Da im Winter

die Stallarbeiten meist um 18 Uhr beendet sind, konnte sich nach 4 Stunden der Luftaustausch nach den vorhandenen Möglichkeiten ungehindert eingependelt haben.

Auf ein Fotostativ baute ich mir mit Hilfe von abnehmbaren Klammern eine feste Halterung für das Lambrecht-Katathermometer und das Lambrecht-Polymer, so daß beide Instrumente, ohne zu pendeln, in einem Meter Höhe fixiert waren (Kopfhöhe der Tiere). Dieses Stativ stellte ich nacheinander an drei bis sechs verschiedenen Stellen im Stall auf, wie aus Skizze Nr. 1 ersichtlich.

Skizze Nr. 1



Ich wählte in Rinderstallungen nach Möglichkeit für den Punkt A die sogenannte Kälberecke; das ist die Stelle, an der die Kälber nach der Geburt angeseilt werden, zumeist in der Nähe eines Fensters an der Außenwand, oder in einer Ecke der Stallgasse hinter den Großtieren.

Wenn für die Kälber separate Ställe oder Boxen vorgesehen sind, wählte ich eine Außenwand hinter oder neben den Großtieren. Das Stativ stellte ich so auf, daß das Katathermometer jeweils 20 cm von der Außenwand entfernt war.

Mit Punkt B bezeichne ich eine Stelle zwischen den Großtieren, etwa in Höhe der Brust und ungefähr in der Mitte des Stalles. Hier war die Messung wegen der Unruhe der Tiere am schwierigsten und ohne Helfer nicht möglich. Vergleichsmessungen haben jedoch gezeigt, daß kurzzeitiges Anblasen oder Schweifwedeln keinen wesentlichen Einfluß auf das Katathermometer haben. Hingegen spricht das Pernix-Hygrometer sofort mit einer Steigerung von 3-5 % an, während der Abfall auf den ursprünglichen Wert etwa 2 Minuten dauert.

Für den Punkt C suchte ich mit Hilfe von Rauchproben eine Stelle im Futtergang aus, die eine kontinuierliche Luftbewegung aufwies, etwa die Mitte zwischen zwei geöffneten Fenstern oder zwischen undichter Tür und Heuloch, um wenigstens ungefähr ein Maß für die Stärke der Lüftung zu bekommen. In manchen Fällen maß ich zusätzlich weitere Punkte, die mir interessant schienen, wie Lüftungsanlagen, große Türritzen, Heulöcher etc.

Regelmäßig befestigte ich in der Umgebung des Punktes A ein Thermometer 20 cm unter der Decke. Ein weiteres legte ich vor Betreten des Stalles im Freien in 1 m Höhe aus.

Die Außenfeuchte stellte ich jeweils zu Anfang und Ende einer Versuchsreihe fest. Zwischenkontrollen machte ich während des Gangs von einem Stall zum anderen. Einmal pro Nacht bestimmte ich die mittlere Abkühlungsgröße im Freien, die natürlich sehr von der schwankenden Windgeschwindigkeit abhängig war. Nach einer kleinen Versuchsreihe ermittelte ich als besten Platz für die CO₂-Messung die Stallgasse hinter den Tieren. In der üblicherweise gewählten Mitte des Stalles war die Messung zu ungleichmäßig, weil sich, auf Grund der hier immer in den Futtergang führenden Frischluftzufuhr, durch die Mischung mit der Ausatemungsluft der Tiere gewisse Zufälligkeiten auswirkten.

Trotzdem hat die besondere Art der Belüftung durch Löcher in Deckenhöhe dazu geführt, daß ich im Gegensatz zu anderen Autoren in fast der Hälfte aller Fälle

unter der Decke geringere CO_2 -Konzentrationen gemessen habe als 1 m über dem Boden (siehe Ergebnisse).

In Schweineställen ging ich analog vor.

Punkt C liegt im Futtergang in der Mitte des Stalles. Hier dürfte - zumindest bei durchbrochenen Trennwänden - das durchschnittliche Stallklima herrschen.

Punkt B liegt in der Bucht, zwischen oder über den Tieren.

Punkt A liegt an einer (feuchten) Außenwand.

Für die CO_2 -Bestimmung suchte ich eine Stelle außerhalb stärkerer Luftströmung. Wegen der Kammerung vieler Schweineställe durch hohe, massive Trennwände dürften die Meßergebnisse unter der Decke wohl den besseren Gesamtwert darstellen.

Folgende Geräte benütze ich für die Messungen:

a) Das Lambrecht-Polymer.

Es dient zur Messung verschiedener meteorologischer Werte wie relative Feuchte, Temperatur, absolute Feuchte, Taupunkt, Dampfdruck, Sättigungsdruck, Sättigungsdefizit. Das Gerät besitzt als Meßelement einen Pernix Kunstfaserstrang, dessen Längenänderungen eine Bewegung des Zeigers bewirken. Die Skala ist in % relativer Feuchte und in Gradzahlen eingeteilt. Das Meßelement soll alle 14 Tage regeneriert werden. Dazu umhüllt man das Thermometer mit einem feuchten Tuch. Nach einer halben Stunde muß die Anzeige etwa 95 bis 96 % betragen. Abweichungen können mittels einer Schraube korrigiert werden.

Die Verbesserung des einfachen Hygrometers aus Frauenhaar durch Verwendung der Kunstfaser "Pernix" bringt wesentliche Genauigkeitsvorteile, besonders bei Werten über 70 %, wie V o i t (38) nachgewiesen hat. Es reagiert sofort auf Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes nach oben. Es ist daher sehr darauf zu achten, daß man beim Ablesen, besonders in den teilweise recht dunklen Ställen, dem Instrument nicht zu nahe kommt, weil sich dadurch das Ergebnis um ca 5 % erhöhen kann.

Für die Anwendung in Stallungen möchte ich jedoch eine Verbesserung dahingehend vorschlagen, daß die empfindlichen Teile durch ein Gitter geschützt werden, weil eine Beschädigung durch die Tiere oder durch das Stallpersonal nicht zu vermeiden ist. Ferner müßten universellere Möglichkeiten zum Aufhängen oder Aufstellen angebracht werden.

Die Herstellung eines preiswerten, mechanisch einfachen, gut geschützten, leicht zu reinigenden und vor allem leicht zu justierenden Thermo-Hygrometers könnte dazu beitragen, das Verständnis für stallklimatische Verhältnisse besonders bei der technisch interessierten Bauernjugend zu fördern.

b) Das Katathermometer.

Es dient zur Ermittlung der klimatischen Abkühlungsgröße, d. h. man kann auf Grund der Messungen mit dem Katathermometer relativ beurteilen, in welchem Maße sich der den jeweiligen klimatischen Verhältnissen ausgesetzte menschliche oder tierische Körper abkühlt.

Die Messung mit dem Instrument vollzieht sich folgendermaßen:

Vor Beginn der Messungen wird das Thermometer-Gefäß so in ein Wasserbad von 50-80°C eingetaucht, daß sich die obere Blase zu etwa 1/3 ihres Volumens mit der Anzeige-Flüssigkeit füllt. Das Thermometer wird danach abgetrocknet und so frei aufgehängt, daß es nicht pendeln kann. Mittels einer Stoppuhr wird die Zeit bestimmt, die der Flüssigkeitsmeniskus braucht, um von der oberen Marke bis zur unteren Marke abzusinken (von 38°C auf 35°C).

Die Abkühlungsgröße ergibt sich dann aus dem Quotienten:

$$A_k = \frac{\text{Gerätekongstante}}{\text{gestoppte Zeit}}$$

Nach H i l l (12) gelten folgende Beziehungen zwischen der Abkühlungsgröße A_k , der Temperatur t und der Windgeschwindigkeit v :

$$\begin{aligned} \text{für } v &= 0 & A_k &= 0,22 \cdot (36,5 - t)^{1,06} \\ \text{für } v &= 1 \text{ m/sec:} & A_k &= (36,5 - t) \cdot (0,20 + 0,40 \cdot \sqrt{v}) \\ \text{für } v &= 1 \text{ m/sec:} & A_k &= (36,5 - t) \cdot (0,13 + 0,47 \cdot \sqrt{v}) \end{aligned}$$

Wird die Gleichung nach v aufgelöst, kann aus der gemessenen Abkühlungsgröße und der bekannten Temperatur auch die Windgeschwindigkeit ermittelt werden. Die Firma liefert dazu eine Auswertetabelle.

Beispiel: Der Mittelwert aus zwei Stoppungen ergab die Abkühlungszeit 41,7 sec bei einer Temperatur von + 15°C. Die Instrumenten-Konstante ist 417.

$$A_k = \frac{417}{41,7} = 10$$

In der beigegebenen Tabelle findet sich die Windgeschwindigkeit:

$$v = 0,439 \text{ m/sec}$$

Man vergegenwärtige sich, daß dies eine Luftbewegung von 44 cm pro Sekunde bedeutet.

Über die Richtung der Luftbewegung ist allerdings damit nichts ausgesagt, so daß also nicht proportional auf eine gewisse Lüftungsintensität geschlossen werden kann. Es kann sich bei den gemessenen Windgeschwindigkeiten natürlich auch um thermische Vertikalströmungen handeln.

c) Das Draeger'sche Gasspürgerät 19/31

Die Arbeiten von Rietzler (24) und Voit (38) haben die Brauchbarkeit dieses Gerätes und des "Prüfröhrchens 0,5 %" für Stalluntersuchungen erwiesen. Beide Autoren haben eine Änderung der Skala auf einen Meßbereich zwischen 0,1 und 1,0 % CO₂ vorgeschlagen, um die Genauigkeit zu erhöhen und das Ablesen zu erleichtern.

Im Herbst 1959 bekam ich die neuen Prüfröhrchen des Typs 0,1/a bei denen die Skala - nicht linear - in 0,1-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 eingeteilt ist.

Das Gerät besteht aus einer Balgpumpe, in deren Gummifassung am Kopf ein Prüfröhrchen eingesteckt wird.

Der Balg ist innen mit zwei Federn so vorgespannt, daß der Arbeitshub des Gerätes bei der Füllung des Balges erfolgt. Die einströmende Luft muß das Prüfröhrchen passieren. Da nur die sich entspannenden Federn den Saugvorgang der Pumpe erzeugen, wird jeder subjektive Einfluß ausgeschaltet. So wird die Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Prüfröhrchen, die entscheidend für die Meßgenauigkeit ist, ausschließlich durch die Federkraft und den Widerstand der Röhrchenfüllung bestimmt.

Das Pumpen wird so oft wiederholt, wie es die Vorschrift für die jeweilige Röhrchentype verlangt. Für das "Prüfröhrchen 0,1a" sind fünf Hübe erforderlich, danach kann der CO₂-Gehalt direkt in % an der Umschlagstelle der verfärbten Farbzone abgelesen werden.

Das Prüfröhrchen kann nach positiver Anzeige nicht mehr verwendet werden. Die ablesbare Verfärbung des Röhrchens hält etwa 2 bis 4 Stunden an.

Die Reaktion ist auf CO_2 praktisch spezifisch. Andere saure Gase stören nicht. Die Luftfeuchtigkeit hat keinen Einfluß, solange nicht Wasserdampf vorliegen. Die aufgedruckte Skala gilt nur für Temperaturen zwischen 0° und $+40^\circ$.

Leider verlief bei den ersten 100 Röhrchen die verfärbte Farbzone schräg, was die Ablesung erschwerte und zum Interpolieren zwang.

Ich benützte in den ersten 29 Ställen jeweils ein " CO_2 -Prüfröhrchen 0, 1/a" für die Messung in Kopfhöhe der Tiere (1 m) und 20 cm unter der Decke. Zur Überprüfung und zur genaueren Feststellung machte ich mit jedem Röhrchen weitere 5 Hube, teilte den Gesamtwert von 10 Hübten durch 2 und verglich die beiden Werte.

Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der folgenden Tabelle I auf S. 22 zusammengestellt. Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, waren die Abweichungen einseitig und erheblich.

Verglichen mit den übrigen Faktoren des Stallklimas und den Messungen früherer Autoren erschienen die Werte auch absolut zu niedrig. Ich machte deshalb 36 zusätzliche Vergleichsmessungen mit den " CO_2 -Prüfröhrchen 0, 5 %", wie sie bisher ausschließlich verwendet wurden.

Die Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen sind aus der nachstehenden Tabelle II auf S. 24 zu entnehmen.

Wie aus Tabelle II ersichtlich ist, wurden bei 36 Vergleichsmessungen zwischen " CO_2 -Prüfröhrchen 0, 5 %" und "0, 1/a" nur 4 gleiche Werte gefunden (Toleranz $\pm 0,05$). Es ergaben sich Abweichungen um das Dreifache. Ohne Ausnahme wurden vom "Röhrchen 0, 5 %" die höheren Werte angezeigt.

Die Durchschnittswerte des Typ	0, 5 %:	0,40
"	"	"
"	"	"
"	"	"
"	0, 1/a:	0,23.

Die Röhrchen 0, 5 % zeigten also durchschnittlich fast den doppelten Wert an.

Tabelle I Röhren 0,1/a

Stall Nr.	5 Hübe	10 Hübe	10 Hübe/2	Differenz 10 H/2- 5H	Abweichung 5H / Diff.
1	0,25	0,50	0,25	-	-
	0,18	0,40	0,20	+ 0,02	+ 1/9
2	0,19	0,58	0,29	+ 0,10	+ 1/2
	0,10	0,35	0,17	+ 0,07	+ 1/4
	0,16	0,45	0,22	+ 0,06	+ 1/3
3	0,16	0,40	0,20	+ 0,04	+ 1/4
	0,10	0,30	0,15	+ 0,05	+ 1/2
4	0,12	0,38	0,19	+ 0,07	+ 2/5
	0,18	0,50	0,25	+ 0,07	+ 2/5
5	0,15	0,40	0,20	+ 0,05	+ 1/3
	0,25	0,55	0,27	+ 0,02	+ 1/12
6	0,08	0,18	0,09	+ 0,01	+ 1/8
	0,07	0,19	0,09	+ 0,02	+ 2/7
7	0,20	0,55	0,27	+ 0,07	+ 1/3
	0,15	0,42	0,21	+ 0,06	+ 2/5
8	0,05	0,15	0,075	+ 0,025	+ 1/2
	0,05	0,15	0,075	+ 0,025	+ 1/2
9	0,25	0,65	0,32	+ 0,07	+ 2/7
10	0,13	0,30	0,15	+ 0,02	+ 1/6
	0,14	0,35	0,175	+ 0,035	+ 1/4
11	0,16	0,40	0,20	+ 0,04	+ 1/4
	0,09	0,30	0,15	+ 0,06	+ 2/3
12	0,15	0,40	0,20	+ 0,05	+ 1/3
13	0,27	0,70	0,35	+ 0,08	+ 2/7
	0,20	0,57	0,29	+ 0,09	+ 1/2
14	0,15	0,40	0,20	+ 0,05	+ 1/3
	0,35	0,65	0,32	+ 0,03	- 1/12
15	0,15	0,40	0,20	+ 0,05	+ 1/3
	0,18	0,45	0,22	+ 0,04	+ 2/9
16	0,20	0,50	0,35	+ 0,05	+ 1/4
	0,22	0,62	0,31	+ 0,09	+ 2/5
17	0,10	0,30	0,15	+ 0,05	+ 1/2
	0,125	0,30	0,15	+ 0,025	+ 1/5
21	0,10	0,30	0,15	+ 0,05	+ 1/2
23	0,28	0,75	0,37	+ 0,09	+ 1/3

Fortsetzung T a b e l l e I Röhrrchen 0,1/a

Stall Nr.	5 Hübe	10 Hübe	10 Hübe/2	Differenz 10 H/2- 5H	Abweichung 5H / Diff.
24	0,10	0,24	0,12	+ 0,02	+ 1/5
25	0,40	0,80	0,40	-	-
26	0,175	0,47	0,23	+ 0,06	+ 1/3
27	0,10	0,27	0,14	+ 0,04	+ 2/5
28	0,09	0,20	0,10	+ 0,01	+ 1/9
22	0,10	0,20	0,10	-	-
61	0,125	0,25	0,125	-	-
62	0,09	0,15	0,075	- 0,025	- 2/7
63	0,10	0,25	0,125	+ 0,025	+ 1/4
	0,15	0,40	0,20	+ 0,05	+ 1/3
64	0,17	0,70	0,35	+ 0,17	+ 1/1

T a b e l l e II

Stall Nr.	Typ 0, 1/a 5 Hübe	Typ 0, 5% 5 Hübe	Röhrchen-Vergleich:	
			Typ 0, 1/a 5 Hübe	Typ 0, 5% 5 Hübe/5
12	0, 14	1, 125	0, 14	0, 22
20	0, 35	3, 80	0, 35	0, 63
22	0, 125	1, 00	0, 12	0, 20
23	0, 30	3, 00	0, 30	0, 60
24	0, 15	0, 90	0, 15	0, 18
25	0, 35	2, 95	0, 35	0, 60
26	0, 125	2, 00	0, 12	0, 40
27	0, 10	1, 00	0, 10	0, 20
28	0, 10	0, 50	0, 10	0, 10
29	0, 57	4, 50	0, 57	0, 90
29	0, 65	4, 50	0, 65	0, 90
30	0, 15	1, 50	0, 15	0, 30
30	0, 175	1, 75	0, 17	0, 35
31	0, 20	1, 00	0, 20	0, 20
31	0, 20	1, 50	0, 20	0, 30
32	0, 35	3, 00	0, 35	0, 60
32	0, 60	3, 50	0, 60	0, 70
33	0, 20	1, 50	0, 20	0, 30
33	0, 15	1, 50	0, 15	0, 30
34	0, 20	1, 70	0, 20	0, 38
34	0, 21	2, 20	0, 21	0, 44
35	0, 10	1, 25	0, 10	0, 25
35	0, 10	1, 30	0, 10	0, 26
36	0, 50	4, 00	0, 50	0, 80
36	0, 50	4, 00	0, 50	0, 80
37	0, 35	2, 25	0, 35	0, 45
38	0, 15	1, 20	0, 15	0, 24
39	0, 16	1, 50	0, 16	0, 30
40	0, 30	2, 00	0, 30	0, 40
41	0, 125	1, 00	0, 12	0, 20
43	0, 30	2, 00	0, 30	0, 40
61	0, 12	1, 06	0, 12	0, 20
64	0, 10	2, 00	0, 10	0, 40

Fortsetzung

T a b e l l e II

Stall Nr.	Typ 0, 1/a 5 Hübe	Typ 0, 5 % 5 Hübe	Röhrchen-Vergleich:	
			Typ 0, 1/a 5 Hübe	Typ 0, 5 % 5 Hübe/5
65	0, 10	1, 75	0, 10	0, 35
65	0, 40	2, 50	0, 40	0, 50
66	0, 20	1, 85	0, 20	0, 26
Durchschnitt:			0, 23	0, 40

Auf meine diesbezügliche Anfrage beim Hersteller der Röhrchen bekam ich folgende Auskunft: (im Auszug)

" Die Genauigkeit der alten "CO₂-Prüfröhrchen 0, 5 %" gerade im Bereich unter 1, 0 % war recht begrenzt. Das war auch der Grund, warum das neue CO₂-Prüfröhrchen mit dem Index 0, 1/a geschaffen wurde. Erst mit diesem Röhrchen waren genaue CO₂-Messungen im Konzentrationsbereich unter 1 Vol. -% möglich. Weiter ist noch zu bemerken, daß es bei den alten "CO₂-Prüfröhrchen 0, 5 %" nicht ohne weiteres möglich war, kleinere Konzentrationen als 1 % mit erhöhter Hubzahl zu messen. Dabei wandelte sich das Reagens, so daß die Beziehung zwischen Farbzonenlänge und Hubzahl nicht mehr durch ein rationales Zahlenverhältnis ausgedrückt werden könnte.

Wir haben einige Lagerröhrchen der gleichen Charge kontrolliert und gefunden, daß sie eingestellte CO₂-Konzentrationen richtig anzeigen. Im übrigen würden wir aber auch bei diesen Röhrchen nicht empfehlen, mit anderen Hubzahlen zu arbeiten, als sie in der Gebrauchsanweisung angegeben sind. Dadurch können nur Meßfehler entstehen. "

In einigen vergleichenden Untersuchungen versuchte ich die gleichmäßige Anzeige der "Prüfröhrchen 0, 1/a" zu erproben. In fünf verschiedenen Ställen maß ich an jeweils einem Punkt nacheinander mit fünf Röhrchen den CO_2 -Gehalt.

Die Beurteilung der Anzeige erfolgte getrennt durch zwei weitere informierte Personen.

Es ergaben sich am selben Platz, innerhalb der kürzestmöglichen Zeit von 10 Minuten, unterschiedliche Ergebnisse, die um nicht mehr als 0,1 % differierten (mit zwei Ausnahmen). Als Grund dafür können momentan schwankende CO_2 -Konzentrationen, technische Unzulänglichkeiten bzw. Grenzen des Geräts und individuell verschiedene Beurteilung der Farbzone durch die Untersuchen- den angenommen werden.

Die zitierte Mitteilung der Herstellerfirma und 200 Meß- sowie 60 weitere Kontrolluntersuchungen von mir berechtigen zu dem Schluß, daß mit dem Draeger'schen Gasspürgerät 19/31 und dem Röhrchen 0, 1/a der Kohlendioxyd- gehalt der Stalluft in Zehntelprozent angegeben werden kann.

IV. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Die nachfolgende Tabelle III gibt eine Übersicht über die gesamten Meß-
ergebnisse.

Sechzig Rinder- und vierzig Schweineställe sind in der zeitlichen Reihenfolge
der Untersuchung, jedoch getrennt, aufgeführt.

Aus der Tabelle III kann entnommen werden, daß 60 Kuhställe insgesamt mit 382 GVE belegt waren; 7 Ställe hatten weniger als 4 GVE, 13 größere Ställe mehr als 8 GVE.

Stall 1 war mit 2,1 GVE der kleinste, Stall 58 mit 15 GVE weitaus der größte.

Die räumliche Größe schwankte zwischen 328 m^3 und $34,5 \text{ m}^3$, die Belegung zwischen $8,5 \text{ m}^3/\text{GVE}$ und $45,8 \text{ m}^3/\text{GVE}$, wobei 28 Ställe zwischen 15 und $25 \text{ m}^3/\text{GVE}$ aufwiesen. 10 Ställe lagen unter $15 \text{ m}^3/\text{GVE}$ und 22 Ställe hatten mehr als $25 \text{ m}^3/\text{GVE}$ zur Verfügung.

Als Durchschnitt wurden $23,7 \text{ m}^3/\text{GVE}$ ermittelt.

Die Ställe waren also nach den Normen von Stietenroth (35) und Ober (21) im allgemeinen etwas unterbelegt, was hier mit dem schlechten Futterjahr 1959 zusammenhängt.

Das Verhältnis Fensterfläche zu Bodenfläche (FF/BF) entspricht mit durchschnittlich $1/25$ nicht ganz den von Niehuess (19) und Ober (21) empfohlenen Werten $1/15 - 1/20$. Im Stall Nr. 10 erreichte dieser Wert sogar $1/136$. Weitere 36 Ställe blieben über $1/20$.

Die Tiere werden - besonders in älteren Ställen - meistens in Langständen aufgestellt. 16 Ställe hatten einen Mittellangstand und nur 5 Neubauten einen Kurzstand.

Als Bodenmaterial wurde in 11 alten, sparsam gebauten Ställen sogenannte "Pflastersteine" verwendet; das sind faustgroße Rheinkiesel, die den heutigen hygienischen Anforderungen natürlich keineswegs mehr entsprechen. 23 mal fand ich hartgebrannte Backsteine (Ziegelsteine) und in den neueren Ställen 16 mal Platten oder Estrich aus Steinit oder Stallit.

Bis vor zehn Jahren wurden fast ausschließlich Hourdis- und Ziegeldecken mit Eisenträgern verwendet, (hier 32 und 12 mal) mit der typischen Tröpfchenbildung unter den als Wärmebrücken fungierenden Trägern. In 9 Neubauten fand ich Decken aus Spannbeton, ausgefüllt mit Hohlblocksteinen. Holzdecken wurden 6 mal vorgefunden. 2 Ställe hatten eine reine Betondecke.

Bevorzugtes Baumaterial sind Backsteine. 14 sehr solid gebaute Ställe hatten wärmeschutztechnisch ungünstige Sandsteinwände von 0,45 m Dicke. Hohl-

Tabelle III Rinderställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
1	8. 12.	4	2, 1	Sst	Hbl	Bst	98, 6	1/20	47, 0	+ 4	90	A	11	90	0, 094	0, 25	0, 18	8, 18	+
												B	11	93	0, 091			8, 15	
												C	10	96	0, 055			7, 08	
2	8. 12.	8	8, 3	Sst	Hd	Bst Sst	203, 0	1/17, 5	24, 5	+ 4	90	A	14	97	0, 050	0, 19	0, 16	6, 47	+
												B	14	91	0, 144			7, 91	
												C	13	91	0, 123			8, 05	
												E	12	94	0, 086			7, 76	
3	8. 12.	120	5, 0	Bst	Bst	Bst Sst	136, 0	1/29	27, 2	+ 4	90	A	10	84	0, 129	0, 16	0, 10	9, 07	+
												B	10, 5	90	0, 060			7, 53	
												C	9, 5	88	0, 181			10, 10	
4	9. 12.	23	2, 2	Bst	Hd	Bst	141, 0	1/27	64, 0	- 1	100	A	11	88	0, 080	0, 12	0, 18	7, 91	+
												B	11	88	0, 130			8, 74	
												C	11	91	1, 070			7, 80	
5	9. 12.	49	4, 5	Bst	Hd	Bst	80, 4	1/26	17, 8	- 2	100	A	10	84	0, 120	0, 15	0, 24	8, 98	+
												B	12	93	0, 080			7, 65	
6	9. 12.	?	7, 0	Bst	Hd	Sst Bst	83, 8	1/25	12, 0	- 2	100	A	11	81	0, 060	0, 08	0, 07	7, 62	+
												E	8	75	0, 260			11, 42	
												C	8	74	0, 090			9, 14	
7	9. 12.	100	7, 0	Pfl	Gwb	Sst	195, 0	1/20	27, 8	- 2	100	A	12	97	0, 060	0, 20	0, 15	7, 23	+
												B	13, 5	97	0, 100			7, 45	
												C	12	90	0, 090			7, 85	
												D	11	92	0, 070			7, 87	
8	10. 12.	4	3, 8	Sta	Hd	Bst	131, 5	1/20	34, 6	+ 1	90	A	11	76	0, 106	0, 05	0, 05	8, 40	+ As
												B	11	85	0, 204			9, 70	
												C	8, 5	84	0, 090			9, 04	
9	10. 12.	32	8, 0	Pfl	Hd	Bst	151, 0	1/24	18, 9	+ 1	90	A	14, 5	96	0, 046	0, 25	0, 25	6, 28	+
												B	16	88	0, 100			6, 82	
												C	10, 5	81	0, 050			7, 38	

Fortsetzung T a b e l l e III Rinderställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial Boden Decke Wand			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg	
																1 m	20 cm			
																				Höhe
10	10.12.	25	4,3	Bst	Hz	Bst	197,0	1/136	45,8	+ 1	90	A	12,5	82	0,080	0,13	0,14	7,55	+	
													B	13	88			0,075		7,25
													C	11	88			0,082		8,06
11	10.12.	50	6,0	Bst	Gwb	Sst Bst	88,0	1/43	14,6	+ 1	90	A	11	90	0,144	0,16	0,09	8,94	+	
													B	11	90			0,050		7,35
													C	10	75			0,100		8,78
12	9.12.	54	9,1	Bst	Hd	Sst	255,5	1/28	28,0	- 5	80	A	10,5	70	0,080	0,14	0,15	8,20	+	
													B	11	60			0,120		8,60
													C	8	76			0,118		9,60
13	9.1.	90	9,0	Sta	Gwb	Sst Bst	175,0	1/12	19,5	- 5	80	A	10	95	0,092	0,27	0,20	8,50	-	
													B	11,5	96			0,110		8,30
													C	10	100			0,104		8,70
14	10.1.	76	5,6	Pfl	Gwb	Bst	83,0	1/36	13,2	- 5	80	A	8	92	0,060	0,15	0,35	8,50	+	
													B	10,5	89			< 0,055		7,30
													C	6,5	80			0,210		11,30
15	10.1.	87	6,6	Sta	Gwb	Bst	150,0	1/17	22,8	- 5	80	A	12	84	0,095	0,15	0,18	7,90	-	
													B	13	89			0,123		8,00
													C	9	74			0,081		8,70
													D	9	96			0,057		8,10
16	10.1.	38	11,4	Sst	Hd	Sst Bst	138,0	1/32	12,1	- 5	80	A	12	100	0,071	0,20	0,22	7,50	+	
													B	13,5	97			0,086		6,80
													C	9	87			0,077		8,40
17	10.1.	100	3,8	Pfl	Hd	Bst	72,3	1/44	19,0	- 5	80	A	10	82	0,104	0,10	0,12	8,70	+	
													B	10	87			0,065		8,50
													C	7,5	97			< 0,041		8,00
20	8.1.	120	5,5	Bst	Hd	Bst	100,8	1/35	18,3	+ 1,5	95	A	18	90	0,083	0,35	0,60	5,80	-	
													B	18	93			0,143		6,50
													C	16	81			0,087		6,50

Fortsetzung T a b e l l e III Rinderställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt%		Ak	Lüftg
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
21	8.1.	10	5,7	Bst	Hd	Bst	128,5	1/28	22,6	+ 1,5	95	A	14	60	0,128	< 0,10	0,10	7,70	++
												B	12,5	74	0,122			8,30	
												C	9	74	0,190			10,30	
22	8.1.	7	7,0	Ste	Hbl	Hbl	144,5	1/11	20,6	+ 1,5	95	A	10	76	0,081	0,12	0,10	8,30	++ As
												B	11	85	0,131			8,80	
												C	9	85	0,178			10,10	
23	9.1.	50	4,8	Bst	Hd	Sst Bst	58,6	1/39	12,2	+ 1,5	95	A	15	98	0,076	0,30	0,28	6,50	+
												B	15,5	98	< 0,042			5,90	
												C	12	77	0,166			8,90	
24	9.1.	30	3,9	Hd!	Hz	Bst	34,5	1/16	8,8	+ 1,5	95	A	15	74	0,086	0,15	0,10	6,80	+
												E	14	74	0,334			9,70	
												C	10	75	0,131			9,10	
25	9.1.	80	5,4	Tpl	Hz	Sst Bst	46,0	1/10	8,5	+ 1,5	95	A	15	98	< 0,042	0,35	0,40	5,70	-
												B	17	92	0,130			6,60	
												C	14,5	87	0,070			6,70	
26	9.1.	5	4,4	Ste	Hbl	Hbl	137,0	1/16	31,1	+ 1,5	95	A	14	85	0,072	0,12	0,17	6,90	+ As
												B	15	85	0,108			7,10	
												C	13	80	0,103			7,70	
												D	10	80	0,110			8,80	
27	9.1.	77	9,5	Pfl	Gwb	Sst	193,5	1/32	22,0	+ 1,5	95	A	13	90	0,066	0,10	0,10	7,10	+
												B	14	87	0,098			7,30	
												C	11	88	0,144			9,00	
28	15.1.	4	4,7	Bst	Hbl	Hbl	97,0	1/20	20,6	- 10	70	A	5	68	0,066	0,10	0,09	9,50	+
												B	5,5	80	0,118			10,40	
												C	0	72	0,163			13,20	
29	15.1.	10	5,5	Pfl	Gwb	Sst Bst	150,0	1/20	27,2	- 10	70	A	11	90	0,082	0,57	0,65	8,00	-
												B	12	93	0,089			7,70	
												C	9,5	90	0,095			8,70	

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
30	15.1.	10	3,8	Bst	Hd	Bst	98,0	1/12	25,8	- 10	70	A	6	92	0,070	0,15	0,17	9,30	+ As
												B	8	90	0,060			8,50	
												C	7	94	0,100			8,90	
31	16.1.	100	4,0	Pfl	Hz	Bst	50,5	1/25	12,6	- 10	70	A	8	90	0,070	0,20	0,20	8,7	-
												B	9	94	0,050			7,9	
												C	4,5	87	0,100			10,7	
32	16.1.	70	11,8	Bst	Hd	Bst Hbl	154,0	1/48	13,1	- 10	70	A	13	100	< 0,060	0,35	0,60	6,2	-
												B	15	100	0,057			6,3	
												C	8	75	0,112			9,5	
33	16.1.	40	4,8	Ste	Hd	Bst	88,4	1/25	18,4	- 12	70	A	6	90	0,088	0,15	0,15	9,7	+
												B	7	92	0,071			9,2	
												C	4	84	0,091			10,4	
												D	4	84	0,086			10,3	
34	16.1.	75	8,5	Pfl	Gwb	Sst	205,0	1/25	24,0	- 12	70	A	9	97	< 0,041	0,20	0,16	7,9	+
												B	10	97	0,065			7,8	
												C	6	88	0,057			9,0	
												D	6	88	0,072			9,3	
35	16.1.	13	5,4	Sta	Hd	Bst	149,0	1/18	27,6	- 13	70	A	4,5	85	0,204	0,10	0,10	11,9	-
												B	5,5	87	0,118			10,7	
												C	3	80	0,156			11,9	
43	16.1.	100	4,4	Sta	Gwb	Sst Bst	139,2	1/54	31,6	- 6	78	A	8	75	0,075	0,30	0,35	8,8	-
												B	9	80	0,146			9,7	
												C	6	80	0,119			10,3	
40	16.1.	100	3,8	Bst	Hd	Bst	107,5	1/24	27,9	- 6	78	A	6	78	0,079	0,30	0,25	9,5	+
												B	7	80	< 0,060			8,5	
												C	3	67	0,062			10,0	
36	16.1.	61	5,1	Bet	Gwb	Sst Bst	136,2	1/28	26,7	- 6	78	A	9	96	< 0,041	0,50	0,50	7,7	-
												B	12	98	0,066			7,4	
												C	8	79	0,124			9,7	
												D	10	98	0,110			8,8	

Fortsetzung T a b e l l e III Rinderställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
37	16.1.	80	4,5	Bst	Hd	Bst	115,0	1/26	25,3	- 6	78	A	8	82	0,118	0,35	0,40	9,6	+
												B	9	84	0,103			8,0	
												C	6	75	0,102			10,0	
38	16.1.	60	4,0	Bst	Hd	Sst Bst	81,6	1/34	24,0	- 6	78	A	5,5	85	0,041	0,15	0,25	6,9	+
												B	8	91	0,107			9,4	
												C	4	77	0,073			10,0	
39	17.1.	20	5,2	Sta	Hd	Bst	122,0	1/14	23,4	- 7	78	A	4	94	0,082	0,16	0,20	10,2	+
												B	5,5	97	0,057			9,0	
												C	3	83	0,135			11,6	
												D	6,5	94	0,168			10,9	
41	18.1.	45	6,2	Bst	Hd	Bst	107,5	1/15	17,2	- 7	78	A	6	95	0,102	0,12	0,17	10,0	+
												B	7	94	0,102			10,0	
												C	3	84	0,189			12,5	
44	5.2.	70	4,6	Sta	Hd	Bst	109,0	1/17	23,7	+ 4	90	A	11,5	92	0,326	0,20	0,20	10,7	+
												B	13	88	0,097			7,6	
												C	10	71	0,173			9,7	
45	6.2.	120	5,6	Pfl	Gwb	Sst Bst	99,0	1/48	17,6	+ 4	90	A	10,5	82	0,073	0,10	0,10	8,0	+
												B	11	84	0,065			7,7	
												C	10	71	0,223			10,3	
46	6.2.	5	11,3	Sta	Hbl	Hbl Bst	280,0	1/14	24,8	+ 3	89	A	12,5	84	0,076	0,32	0,32	7,4	+
												B	13	83	0,072			7,2	
												C	12,0	74	0,095			7,9	
47	6.2.	56	7,3	Sst Pfl	Hd	Sst Bst	132,0	1/21	18,1	+ 2	89	A	14	89	0,054	0,25	0,30	6,6	+
												B	14,5	93	0,052			6,4	
												C	13	80	0,103			7,4	
												D	12	95	0,051			7,1	
49	7.2.	90	12,0	Sta	Gwb	Sst	148,0	1/29	12,3	+ 1	89	A	12,5	91	0,087	0,25	0,35	7,6	+
												B	13	91	0,090			7,5	
												C	10,5	81	0,108			8,6	

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
48	7.2.	50	9,2	Bst	Hd	Bst	164,0	1/12	17,8	0	89	A	9	88	0,053	0,22	0,27	8,0	+
												B	10	83	0,065				
												C	8,5	80	0,139				
50	12.2.	9	6,0	Bst	Hd	Bst	178,5	1/17	28,9	+ 2	95	A	13	85	0,097	0,25	0,35	7,6	+
												B	13	89	0,060				
												C	12	80	0,143				
51	12.2.	50	6,6	Bst	Hz	Bst	162,8	1/26	24,6	+ 2	94	A	14	93	0,091	0,45	0,40	7,2	+
												B	14,5	89	0,060				
												C	12	88	0,201				
52	12.2.	1	7,0	Sta	Hbl	Hbl	212,0	1/23	31,2	+ 3	91	A	13	91	0,066	0,35	0,45	7,1	+
												B	14	87	0,120				
												C	13	90	0,090				
53	12.2.	100	8,1	Bst	Hz	Bst	179,0	1/50	22,1	+ 4	89	A	13	81	0,146	0,30	0,25	8,3	+
												B	12	83	0,095				
												C	9,5	75	0,150				
54	13.2.	5	10,6	Tpl	Bet	Hz Hz Bst	210,0	1/29	19,8	+ 4	88	A	14,5	98	0,050	0,37	0,40	6,2	-
												B	15	100	0,066				
												C	15	97	0,100				
55	13.2.	8	6,7	Tpl	Hd	Bst	240,0	1/18	36,0	+ 5	87	A	13,5	91	0,345	0,42	0,45	10,0	-
												B	14	95	0,120				
												C	13	88	0,123				
56	13.2.	28	4,8	Bst	Hd	Bst	138,4	1/23	28,5	+ 5	86	A	13	98	<0,060	0,45	0,50	6,9	-
												B	14	99	0,128				
												C	12,5	90	0,105				
57	13.2.	60	6,6	Tpl	Hd	Sst Bst	208,0	1/33	31,5	+ 5	80	A	13	95	<0,060	0,25	0,35	6,9	+
												B	14	93	0,050				
												C	12	81	0,095				
58	13.2.	28	15,0	Sta	Hbl	Bst Pfl	328,0	1/31	21,8	+ 5	80	A	14	98	<0,050	0,25	0,30	6,3	+
												B	15,5	95	0,042				
												C	14	82	0,059				

Fortsetzung T a b e l l e III Rinderställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
59	13. 2.	50	4, 1	Bst	Hd	Bst	78, 6	1/44	19, 2	+ 5	80	A	10	87	0, 065	0, 25	0, 20	8, 0	+
												B	11	87	< 0, 059			7, 3	
												C	12	84	0, 122			8, 3	
42	13. 2.	9	6, 4	Tpl	Hd	Bst	132, 0	1/19	20, 3	+ 6	75	A	17	97	0, 089	0, 40	0, 50	6, 2	-
												B	17	96	< 0, 059			5, 4	
												C	16, 5	90	0, 073			6, 1	
18	13. 2.	5	7, 2	Sta	Hbl	Sst Bst	185, 6	1/21	25, 8	+ 6	72	A	14, 5	98	0, 063	0, 37	0, 47	6, 6	-
												B	14, 5	97	0, 042			6, 1	
												C	13, 5	86	0, 087			7, 3	
19	13. 2.	11	6, 2	Bst	Hd	Bst	148, 0	1/23	24, 0	+ 6	70	A	11, 5	89	0, 110	0, 25	0, 25	8, 3	+
												B	12	91	0, 083			7, 7	
												C	10, 5	80	0, 157			9, 3	
60	13. 2.	60	6, 2	Sta	Bet	Sst	210, 0	1/21	34, 0	+ 5	73	A	10	93	0, 065	0, 20	0, 25	7, 7	+
												B	10	95	0, 065			8, 0	
												C	10	88	0, 081			8, 3	
												D	10	95	0, 104			8, 7	

Fortsetzung

T a b e l l e III

Schweineställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial			Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt%		Ak	Lüftg.
				Boden	Decke	Wand										1 m Höhe	20 cm unter Decke		
63	10.1.	90	0,5	Bst	Hd	Bst	75,6	1/13	151,4	- 5	80	B C	7 93 7 90	0,076 0,076	0,10	0,15	9,3 9,3	-	
62	9.1.	3	1,4	Sta	Hd	Bst	91,5	1/19	65,0	- 5	80	B C	5 90 5 85	0,102 0,098	0,10	0,10	10,3 10,2	+	
61	9.1.	1	1,4	Sta	Hz	Hbl Bst	101,0	1/13	70,5	+ 1	95	A C	10 98 9,5 98	0,070 0,095	0,12	0,12	8,1 8,7	+	
65	16.1.	20	0,9	Bst	Hd	Bst	39,2	1/17	43,6	- 11	70	B C	8 93 6 75	0,124 0,088	0,10	0,40	9,7 9,7	+	
64	16.1.	13	0,8	Bst	Hbl	Sst Bst	47,2	1/43	59,0	- 13	70	B C	2 97 0 85	0,051 0,110	0,10	0,22	10,0 12,1	-	
68	16.1	3	0,8	Sta	Hbl	Hbl	85,5	1/8	100,0	- 7	78	A B	3 84 5 94	0,088 0,146	0,70	> 1,2	10,6 11,1	-	
66	16.1.	3	0,8	Sta	Hbl	Bst	66,7	1/12	75,0	- 7	78	C B	3 99 4 100	0,092 0,073	0,20	0,30	10,7 10,0	-	
69	5.2.	25	0,7	Bst	Hd	Bst	66,2	1/15	89,0	+ 4	90	B C	11 83 11 75	0,106 0,094	0,50	0,42	8,4 8,2	-	
70	5.2.	5	0,4	Sta	Hbl	Bst	57,0	1/13	154,0	+ 4	90	B C	11,5 95 12 96	0,075 0,066	0,20	0,20	7,7 7,4	-	
71	5.2.	60	2,8	Bet	Gwb	Bst	92,0	1/10	32,8	+ 4	90	B C	10,5 90 11 88	0,114 0,186	0,15	0,20	8,7 9,5	++ As	
72	6.2.	130	1,2	Bst	Hz	Hz Bst	61,0	1/19	51,6	+ 4	90	B C	13 97 10,5 85	0,060 0,091	0,20	0,25	6,8 8,3	-	
73	6.2.	3	1,4	Sta	Hbl	Bst	64,6	1/7	44,9	+ 4	90	B C	14 100 13 100	0,050 0,066	0,40	0,30	6,5 7,1	-	
75	6.2.	7	1,4	Sta	Hd	Bst	146,0	1/11	102,0	+ 4	90	B C	10,5 80 13 67	0,157 0,239	< 0,10	< 0,10	9,3 9,3	++	
67	6.2.	120	0,8	Bst	Hz	Hz Bst	28,4	-	34,2	+ 4	90	B C	10 80 9,5 71	< 0,065 0,124	0,17	0,20	7,7 9,2	+	

Fortsetzung T a b e l l e III Schweineställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial Boden Decke Wand	Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftg.
														1 m Höhe	20 cm unter Decke		
74	6.2.	(1) 100	5,4	Sta Gwb Sst	174,0	1/24	32,2	+ 4	90	A	15	99	0,157	1,35	1,40	7,7	-
										B	17	100	0,067				
										C	17	100	0,073				
										D	17	100	0,073				
										E	15	98	0,066				
74a	6.2.	(1) 100	5,4	Sta Gwb Sst	174,0	1/24	32,2	+ 4	90	A	9	94	0,380	0,20	0,20	12,3	++ Venti- lator
										B	11	94	0,383				
										C	11,5	95	0,304				
										D	12,5	95	0,093				
										E	11,5	91	0,558				
76	6.2.	30	1,1	Tpl Hz Bst	91,0	1/13	80,0	+ 3	89	B	12	88	0,083	0,32	0,45	7,7	+
										C	12	80	0,089				
77	6.2.	50	1,5	Bst Hd Bst	65,8	1/20	43,7	+ 2	89	B	9,5	91	0,048	0,30	0,35	7,9	+
										C	9	85	0,096				
78	6.2.	9	2,1	Bst Hd Bet	75,0	1/18	28,6	+ 2	90	B	11	93	0,094	0,32	0,30	8,2	+ As
										A	11	90	0,180				
79	6.2.	24	2,4	Sta Hz Sst Bst	142,0	1/17	58,1	+ 1	88	B	10,5	88	0,097	0,20	0,20	8,4	+ Eh
										C	10,5	83	0,189				
81	6.2.	2	0,7	Ste Hd Sst Bet	54,6	1/14	78,2	+ 1	88	A	10	91	0,098	0,20	0,18	8,6	+
										B	10,5	89	0,073				
80	6.2.	32	2,3	Bst Hd Sst Bst	104,2	1/17	45,5	+ 1	89	B	11	97	0,060	0,20	0,30	7,6	++ As
										C	11	94	0,124				
83	7.2.	2	2,2	Sta Hbl Bst	174,8	1/7	81,0	+ 0,5	89	B	8	95	0,107	0,20	0,22	9,4	+
										C	8	95	0,085				
82	7.2.	53	1,4	Bet Hd Bst Bst	48,2	1/22	33,2	0	89	B	8	92	0,080	0,10	0,20	8,9	+
										C	6	85	0,204				
84	12.2	2	2,1	Sta Hbl Hbl	97,2	1/10	46,2	+ 2	95	B	11	100	<0,059	0,45	0,45	7,0	-
										C	10	99	<0,059				

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial Boden Decke Wand		Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftung
															1 m Höhe	20 cm unter Decke		
85	12. 2.	30	1, 2	Bst	Gwb Bst	64, 0	1/20	54, 7	+ 2	94	A C	11 11	96 97	0, 075 0, 087	0, 67	0, 67	7, 9 7, 9	-
86	12. 2.	(1) 30	0, 9	Sta	H _z Bst Hd	52, 0	1/14	55, 3	+ 3	91	A B	11 11	90 95	0, 100 0, 100	0, 47	0, 50	8, 3 8, 3	+
87	13. 2.	(1) 100	1, 2	Bst	H _z Hbl Sta Bst	95, 5	1/15	77, 0	+ 4	89	B C	8 8	95 92	0, 085 0, 107	0, 18	0, 20	9, 0 9, 4	-
88	13. 2.	1	0, 5	Sta	Hd Hbl	88, 5	1/10	150, 0	+ 4	88	A C	10, 5 10, 5	96 93	0, 231 0, 102	0, 42	0, 45	10, 0 8, 5	-
89	13. 2.	8	0, 8	Bst	Hd Bst	82, 0	1/17	103, 0	+ 5	87	A C	7, 5 8	91 84	0, 195 0, 193	0, 25	0, 30	10, 9 10, 7	+
90	13. 2.	28	1, 8	Bst	Hd Bst	61, 5	1/19	36, 6	+ 5	87	A B	11, 5 11	98 97	0, 110 0, 173	0, 40	0, 45	8, 3 9, 3	+ Eh
91	13. 2.	12	1, 7	Sta	H _z Bst	99, 5	1/12	58, 2	+ 5	80	A C	9 7, 5	90 83	0, 126 0, 069	0, 20	0, 20	9, 4 8, 9	+ Eh
92	13. 2.	28	1, 3	Bst	Hbl Bst	97, 5	1/31	76, 6	+ 5	80	B C	11 11	99 98	0, 070 0, 075	0, 60	0, 60	7, 8 7, 9	-
93	13. 2.	20	0, 8	Sta	Hb Bst	55, 6	1/20	69, 5	+ 6	75	A C	12 11	95 89	0, 083 0, 075	0, 40	0, 37	7, 7 7, 7	-
94	13. 2.	60	0, 9	Bet	Gwb Sst	42, 2	1/11	46, 0	+ 6	73	A B	12 11	84 91	0, 151 0, 085	0, 52	0, 40	8, 7 8, 2	-
95	13. 2.	29	0, 9	Bst	Hd Sst Bst	72, 5	1/12	84, 5	+ 6	72	A C	10 10, 5	90 85	0, 065 0, 165	0, 27	0, 30	8, 0 9, 4	-
96	13. 2.	100	1, 1	Bet	Gwb Sst Bst	60, 0	1/28	55, 0	+ 6	70	B C	8, 5 8	96 95	0, 054 0, 060	0, 20	0, 20	8, 2 8, 5	-
97	13. 2.	11	0, 5	Bst	H _z Bst	60, 0	1/17	120, 0	+ 5	73	A B	7 7	90 89	0, 122 0, 134	0, 18	0, 20	10, 0 10, 2	-

Fortsetzung T a b e l l e I I I Schweineställe

Stall Nr.	Tag d. Unt.	Alter d. Stalls Jahre	GVE	Baumaterial Boden Decke Wand	Kubatur m ³	FF/BF	Raum pro GVE m ³	AT °C	AF %	Pkt	IT °C	IF %	v m/sec	CO ₂ Gehalt %		Ak	Lüftung
														1 m Höhe	20 cm unter Decke		
98	13. 2.	60	1,0	Sst Bet Sst	80,1	1/44	84,5	+ 5	75	B	10,5	96	0,102	0,27	0,20	8,5	+
											C	10,5	95	0,073		8,0	
											D	10	95	0,098		8,6	
99	14. 2.	3	0,7	Bst Hbl Hbl	100,0	1/23	135,0	+ 5	75	A	9,5	87	0,107	0,32	0,30	8,9	-
										C	9	91	0,091			8,8	

blocksteine fand ich in 5 Neubauten.

Vier Ställe hatten einen Abluftschacht, der aber nur in einem Stall einigermaßen zweckmäßig eingebaut und funktionsfähig war. In den übrigen Ställen behalf man sich mit Wandlöchern unter der Decke, mit offenen Futterlöchern und spaltweisem Öffnen der Fenster und Türen.

In allen Ställen habe ich jeweils in der Stallgasse 20 cm unter der Decke die Temperatur gemessen. Sie lag in schlecht gelüfteten Ställen durchschnittlich fast 4 °C höher, in besser gelüfteten Ställen 1-3 °C höher als an der Meßstelle im Punkt B.

Die Deckentemperaturen sind in der Tabelle nicht aufgeführt.

Vierzig untersuchte Schweineställe waren mit insgesamt 57,5 GVE belegt, davon hatten 18 Ställe weniger als eine GVE, also zumindest weniger als 5 schlachtreife Schweine; 14 Betriebe hatten zwischen 1 und 2 GVE.

6 größere Betriebe hatten ihre Ställe mit 2-3 GVE belegt. Eine Mästerei hielt in einem Stall 5,4 GVE (Nr. 74). Es errechnet sich eine durchschnittliche Belegung von 1,43 GVE.

Der kleinste Stall maß 28,4 m³, der größte 174,8 m³. Bei einer durchschnittlichen Stallgröße von 81 m³ entfielen also auf eine GVE 69 m³. Der am stärksten belegte Stall 74 hatte 32,2 m³/GVE, gegenüber 154 m³/GVE in dem am schwächsten belegten.

Die Abtrennung in Buchten wurde in den älteren Ställen entweder durch Backstein- und Betonzwischenwände oder durch dichte Bretterwände vorgenommen. Erst in den nach dem Kriege erbauten oder umgebauten Ställen fand ich Holz- oder Eisengitter (15 mal).

Das Verhältnis von Fensterfläche zu Bodenfläche lag zwischen 1/44 und 1/7 mit einem Durchschnittswert von 1/18. Die neuen und umgebauten Ställe liegen fast ausschließlich zwischen 1/10 und 1/20. Der Besitzer des dunkelsten Kuhstalles (10) hat den hellsten Schweinestall (68) erbaut!

Decken und Wände sind aus denselben Materialien wie die Rinderställe gebaut. Innere Verbesserungen erstrecken sich besonders auf den Stallboden. Ich traf 19 mal Stallit- und Steinestriche und Platten an.

Die Lüftung wird fast nur durch Fenster und Türen getätigt. In 10 Fällen fand ich zusätzlich Wandlöcher, die aber alle verstopft waren. Drei Ställe hatten Abluftschächte und weitere drei sogenannte "Entlüftungshauben", die allerdings ihren Zweck nur sehr unvollkommen erfüllten.

Die Außentemperaturen schwankten im Untersuchungszeitraum zwischen -13° und $+6^{\circ}\text{C}$.

25 Rinder- und 6 Schweineställe wurden bei Temperaturen unter 0°C untersucht.

Die Innentemperaturen schwankten zwischen $+15^{\circ}\text{C}$ und 0°C . Bei Außentemperaturen unter Null war die Durchschnittstemperatur in Rinderställen $8,25^{\circ}\text{C}$, in Schweineställen $5,5^{\circ}\text{C}$ gegenüber $11,6^{\circ}$ und $10,6^{\circ}$ bei Temperaturen über Null.

Die relative Feuchte der Außenluft schwankte zwischen 70 % und 100 %. Im Gegensatz zur Temperatur scheint der Feuchtigkeitsgehalt im Stall unter den vorliegenden Bedingungen unabhängig von außen zu sein. Ich konnte keine Anhaltspunkte für einen Parallelismus finden. Der durchschnittliche Feuchtegehalt lag in Rinderställen bei 86,5 % und in Schweineställen bei 91 %. Es muß berücksichtigt werden, daß hierin die geringeren Feuchtigkeitswerte aus den Lüftungszonen der Punkte C enthalten sind. Die Durchschnittswerte liegen im Punkt B_R (zwischen den Tieren) um ca 5 % höher, also ebenfalls bei 91 %.

Den CO_2 -Gehalt der Stallluft fand ich in 34 von 60 Fällen unter der Decke höher als 1 m über dem Boden; in Schweineställen war er in 21 von 40 Fällen unter der Decke höher. Andere Autoren haben eindeutigeren Unterschiede gefunden. Die Art und Stärke der Lüftung sowie der Ort der Messung und nicht zuletzt das Gerät haben jedoch entscheidenden Einfluß auf das Messergebnis, so daß Vergleiche schlecht möglich sind.

* * *

A) Abkühlungsgröße und Windgeschwindigkeit

Die Abkühlungsgröße läßt bei der ersten Betrachtung vermeintliche Gesetzmäßigkeiten erkennen:

Vergleicht man in den Punkten A_R , B_R , B_S und C_S die Werte aus Ställen unter 0,2 % CO_2 -Gehalt mit denen aus Ställen mit mehr als 0,2 %, so ergeben sich folgende Durchschnittszahlen:

T a b e l l e IV

	CO ₂ -Gehalt	
	über 0,2%	unter 0,2%
Ak an Punkt A_R	8,4	7,9
Ak an Punkt B_R	8,3	7,3
Ak an Punkt B_S	9,1	7,8
Ak an Punkt C_S	9,7	8,7

Vergleicht man nach demselben Schema Temperatur und CO_2 -Gehalt, ergeben sich folgende Durchschnittszahlen:

T a b e l l e V

	CO ₂ -Gehalt	
	über 0,2%	unter 0,2%
Temperatur an Punkt A_R	9,8 °	12,0 °
Temperatur an Punkt B_R	10,3 °	13,1 °
Temperatur an Punkt B_S	7,9 °	10,1 °
Temperatur an Punkt C_S	7,6 °	10,1 °

Über die Beziehungen zwischen relativer Feuchtigkeit und Abkühlungsgröße geben die Durchschnittswerte aus nachfolgender Tabelle VI Aufschluß:

Tabelle VI

	relat. Feuchte	
	unter 95 %	über 95 %
Ak bei Punkt A _R	8,45	7,1
Ak bei Punkt B _R	8,0	7,15
Ak bei Punkt B _S	8,3	8,2
Ak bei Punkt C _S	9,3	8,45

Bei schlechten Bedingungen in Form von hohem CO₂-Gehalt oder hoher Luftfeuchtigkeit habe ich die durchschnittliche Abkühlungsgröße einseitig verändert gefunden, und zwar relativ niedriger bei hohem CO₂-Gehalt oder hoher Luftfeuchte und relativ höher bei niederem CO₂-Gehalt oder niedriger Luftfeuchte.

Diese Tatsache war mir zunächst unerklärlich, weil diese drei Faktoren keinen physikalischen Zusammenhang haben.

Die Mittelwerte aus der Innentemperatur sind an Stellen mit mehr als 0,2 % CO₂-Gehalt höher als an solchen mit weniger als 0,2 %. Die bessere Lüftung oder die schwächere Belegung, die zu einem niedrigen CO₂-Gehalt führen, bringen also eine niedrigere Temperatur mit sich, was erklärlich und bekannt ist. Daraus resultiert - bei dem bekannten Zusammenhang zwischen Temperatur und Abkühlungsgröße - eine höhere Abkühlungsgröße.

Die scheinbare Abhängigkeit der Abkühlungsgröße vom CO₂-Gehalt erklärt sich also aus der Abhängigkeit der Temperatur von der Lüftungsintensität bzw. der Belegung des Stalles.

Die Mittelwerte der Abkühlungsgröße waren an Stellen mit relativer Feuchte über 95 % durchweg niedriger als in weniger feuchten Ställen. Dies war sowohl in Rinder- als auch in Schweineställen der Fall.

Es läßt sich dadurch erklären, daß nur bei mangelhafter Lüftung oder Überbelegung ein solch hoher Feuchtegehalt auftreten kann. Da damit auch eine allgemein höhere Temperatur verbunden ist, ist also auch hier die Abkühlungsgröße nur auf dem Umweg über die Temperatur von der relativen Feuchte bedingt abhängig.

Wenn man jede einzelne Messung in ein Koordinatensystem mit der Temperatur als Abszisse und der Abkühlungsgröße als Ordinate einträgt, wird der Zusammenhang offensichtlicher.

Ich habe für die Punkte A_R , B_R , B_S , C_S jeweils ein Diagramm gezeichnet. (Siehe S. 34 - 37.)

Aus Diagramm B_R auf Seite 34 ist zu ersehen, daß die Meßwerte nicht ungleichmäßig zerstreut im Koordinatensystem liegen, sondern in bestimmter Weise gruppiert sind.

Wenn man über die am Rand liegenden Punkte eine Begrenzungslinie zieht, so nimmt diese im Schaubild B_R die Form eines Rhombus an, innerhalb dessen Grenzen die einzelnen Meßwerte liegen. Er erstreckt sich von $A_k = 5,7$ bis $10,7$ und von 18° bis $5,5^\circ\text{C}$. Nur ein Meßwert aus Stall 8 liegt außerhalb dieser Umgrenzung. Es dürfte sich hier um einen Meßfehler handeln, weil aus den Verhältnissen in diesem Stall nicht auf ein Extrem, in diesem Falle der Windgeschwindigkeit, geschlossen werden kann.

Der aus 55 Werten errechnete Durchschnitt für die Abkühlungsgröße liegt hier bei $7,75$, für die Temperatur bei 12°C . Den höchsten Wert fand ich mit $A_k = 10,7$ im Stall 35. Er wurde bei einer Innentemperatur von $+5,5^\circ\text{C}$ und einer Außentemperatur von -13°C ungefähr in der Mitte des ungelüfteten Stalles zwischen den Tieren ermittelt.

Den niedrigsten Wert fand ich ebenfalls in dem ungelüfteten Stall 42 bei der Innentemperatur 17°C und einer Außentemperatur von $+6^\circ\text{C}$.

Es handelt sich hier gleichzeitig um die höchsten und niedrigsten Außentemperaturen, bei denen ich Messungen gemacht habe. Dazwischen liegen die übrigen 52 Meßwerte, die bei gleicher Abkühlungsgröße jeweils um höchstens 5°C oder bei gleicher Temperatur um höchstens $1,7 \text{ mcal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ differieren.

Tabelle VII veranschaulicht die Beziehungen zwischen Windgeschwindigkeit und Abkühlungsgröße bei gleichbleibender Temperatur, sowie die Abhängigkeit der Temperatur bei gleichbleibender Abkühlungsgröße:

A_R
mcal/cm²sec

Diagramm B_R

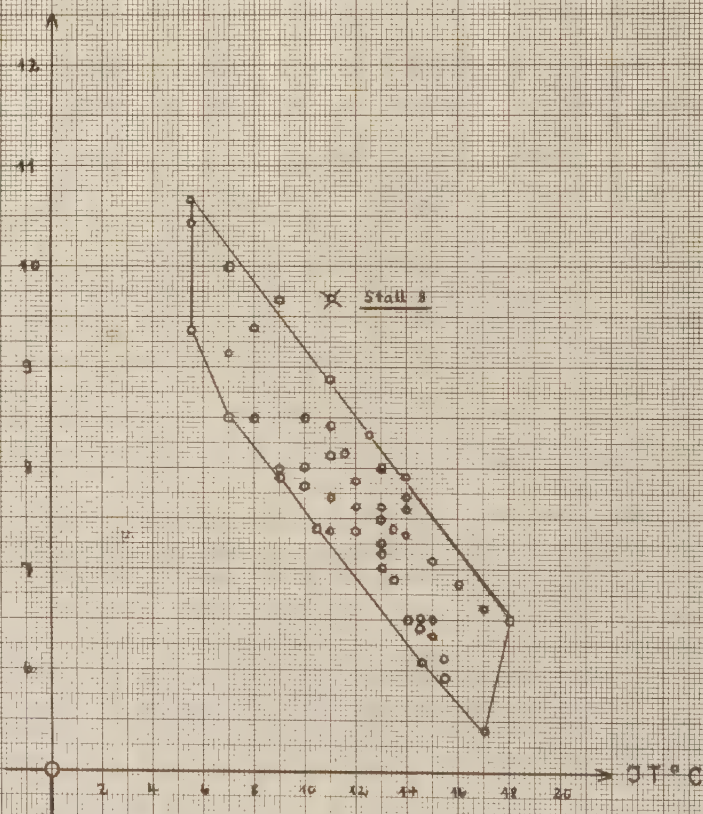


Diagramm A_R

A_R
mcal/cm²sec

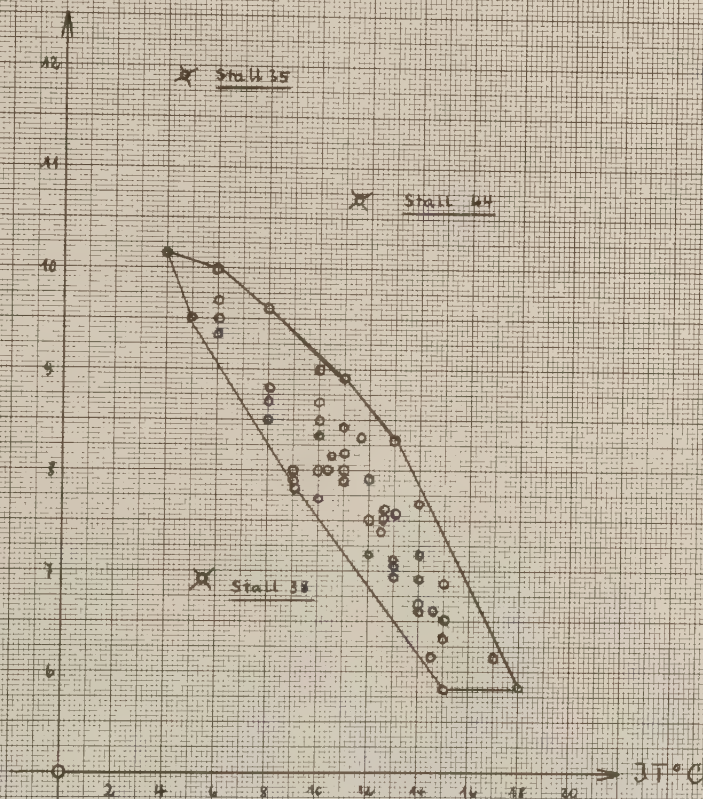


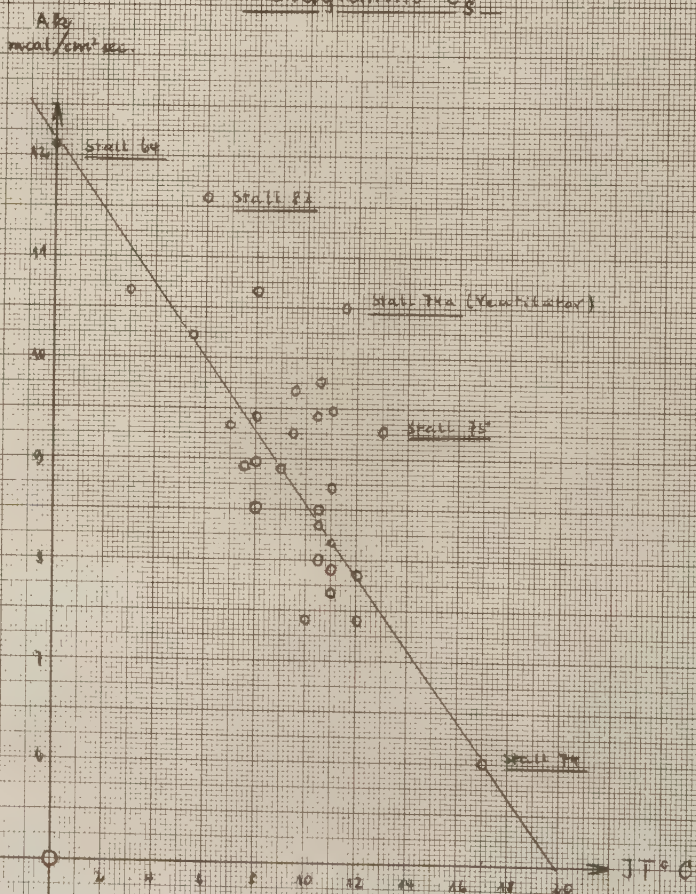
Diagram C_8 

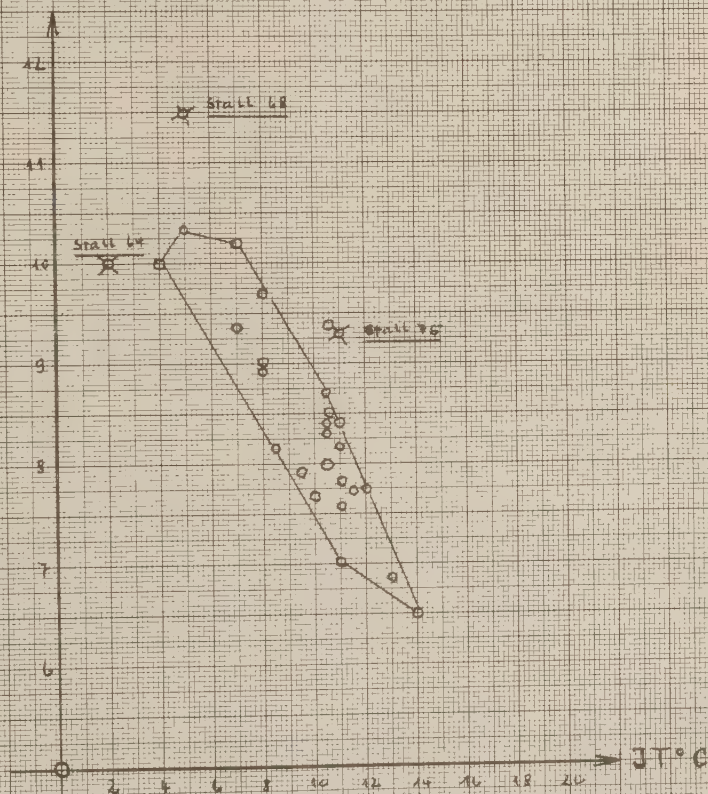
Diagramm B₅A₁₂
mlal/cm²sec

Tabelle VII

bei	12 °C und $v = 0,05$ m/sec:	$A_k = 7,1$
	12 °C und $v = 0,10$ m/sec:	$A_k = 8,0$
	12 °C und $v = 0,15$ m/sec:	$A_k = 8,7$

bei	$A_k = 7,75$ und $v = 0,05$:	$t = 10$ °C
	$A_k = 7,75$ und $v = 0,10$:	$t = 12,5$ °C
	$A_k = 7,75$ und $v = 0,15$:	$t = 15,0$ °C

Die auf Grund des Diagramms B_R bestimmte Schwankungsbreite der Werte kann also nur Windgeschwindigkeiten zwischen 0,05 und 0,15 m/sec am Standplatz der Tiere zulassen. Nur im Stall 8 errechnete ich $v = 0,204$ m/sec, eine Ausnahme, die schon oben als Meßfehler gedeutet wurde.

Als mittlere Windgeschwindigkeit fand ich 0,086 m/sec, gegenüber 0,092 m/sec am Punkt A_R (an der Wand).

Die Unterschiede liegen also noch innerhalb der von F u h r i m a n n (9) sehr optimistisch angegebenen Fehlergrenze von 0,02 m/sec.

In 26 von 53 Fällen war die Windgeschwindigkeit am Standplatz der Tiere niedriger als an der Wand. Eine Begründung dafür konnte aus den aufgezeichneten Begleitumständen nicht ermittelt werden. In weiteren 7 Fällen konnte nicht verglichen werden, weil die Windgeschwindigkeiten unter dem er-rechenbaren Wert lagen und z.B. mit $<0,05$ angegeben werden.

Im Diagramm A_R (siehe Seite 35) für Meßorte jeweils 20 cm von einer Außenwand entfernt und meistens am Kälberstandplatz, ist kein wesentlicher Unterschied zum vorher Besprochenen zu bemerken.

Aus Diagramm A_R geht hervor, daß die durchschnittliche Temperatur aus 55 Messungen hier bei $11,15$ ° liegt. Das ist um ca 1 Grad niedriger als bei B_R . Die Abkühlungsgröße ist im selben Verhältnis mit 8,15 um 0,40 höher.

Als Höchstwert liegt - hier ebenfalls aus dem kalten Stall 35 - bei $+4,5$ °C die Abkühlungsgröße 11,9 vor, während die niedrigsten Werte 5,7 bei 15 °C (Stall 25) und 5,8 bei 18 °C (Stall 20) lauten.

Beide Werte wurden bei $+ 1,5^{\circ}\text{C}$ Außentemperatur gemessen. Weit außerhalb der gezogenen Grenzen liegt eine Messung aus Stall 38. Sie erfolgte an einer ganz feuchten Außenwand bei einer Außentemperatur von $- 6,5^{\circ}\text{C}$.

Unter ähnlichen Bedingungen wurden sonst mindestens $A_k = 8,0$ bis $9,0$ ermittelt. Erklärlich ist dagegen die Abweichung im Stall 44, wo nur das Katathermometer in einem feinen Luftstrom aus der Türritze hing, während das Thermometer infolge räumlicher Bedingungen von diesem Luftstrom nicht berührt wurde und deshalb eine zu hohe Temperatur anzeigte.

Die Schwankungsbreite der Abkühlungsgröße bei gleichen Temperaturen erreichte im Punkt A_R ebenfalls höchstens $1,7$. Die Temperatur schwankte bei gleicher Abkühlungsgröße um ebenfalls höchstens 5 Grad. Die größere Häufigkeit der Werte liegt auch hier in der unteren Hälfte der Umgrenzung.

Wegen der an jedem Standort wechselnden Luftbewegungen und Temperaturen lassen sich hier keine Schlüsse auf das Ansprechen der Abkühlungsgröße z. B. gegenüber einer nassen oder trockenen Wand ziehen. Eine Zusammenstellung der Messungen an nassen und trockenen Wänden brachte keine eindeutigen Ergebnisse. So wurde u. a. im Stall 39 die Temperatur an einer neugebauten, - von der benachbarten Kuh getrockneten - Wand $+ 6,5^{\circ}\text{C}$ und ca 2 m daneben, an der noch feuchten, frisch verputzten Wand die Temperatur $+ 4^{\circ}\text{C}$ gemessen. Trotzdem war die Abkühlungsgröße an der wärmeren trockenen Wand um $0,7$ höher. Ob dies in diesem Falle der vermehrten Luftbewegung oder der veränderten Wärmeleitfähigkeit des trockenen Wandverputzes zuzuschreiben ist, läßt sich mit den angewandten Methoden nicht klären.

Gleichfalls habe ich versucht, den Einfluß des Baumaterials auf die Abkühlungsgröße zu ergründen. Die unterschiedlichen Einflüsse durch Innen- und Außentemperatur, Luftbewegung, Feuchte der Wand, Verputz und Wanddicke lassen sich nicht abwägen und erlauben nicht einmal annähernd einen Vergleich. Hier können nur systematische Untersuchungen unter gleichen Bedingungen, mit nur jeweils einer Variante, wie sie im Stall nicht zu finden sind, Klarheit schaffen.

Aus den Diagrammen A_R und B_R und der rechnerischen Ableitung geht nur klar hervor, daß die Abkühlungsgröße bei den im Stall von mir ermittelten Luftbewegungen in der Hauptsache von der Innentemperatur bestimmt wird.

Im Diagramm C_S (siehe Seite 36) für die Punkte C_S wird auf eine Umgrenzung wegen der größeren Streuung verzichtet. Die Lage der einzelnen Punkte kann an der Geraden vom höchsten Wert 12,1 zum tiefsten 6,0 hinreichend beurteilt werden. Der relativ größte Abweicher findet sich im Stall 82 mit einer Windgeschwindigkeit von 0,204 m/sec wegen eines geöffneten Nordfensters bei Nordwind.

Stall 75 ist als überbelüftet bereits erwähnt. Die besonderen Verhältnisse aus dem Ventilatorstall 74 werden anderweitig besprochen.

Wegen der Lage der Meßpunkte C_S in der Stallgasse und damit meist in der Zone einer stärkeren Luftbewegung ist die durchschnittliche Abkühlungsgröße wie zu erwarten mit 9,0 um 0,75 höher als bei B_S , während die durchschnittliche Temperatur mit 9,4 °C gleich ist.

Es kommen hier Windgeschwindigkeiten bis zu 0,24 m/sec vor. Der Durchschnitt errechnet sich zu 0,13 m/sec. Es ist gegenüber den Buchten eine Erhöhung vor allem auch darin zu erkennen, daß von 31 Werten nur 10 unter dem für B_S ermittelten Durchschnitt liegen.

In der Mitte des gut abgedichteten Stalles 74 maß ich 0,073 m/sec. Ebensoviele an der Wand. Diese Luftbewegung kann fast nur aus der stallinternen Zirkulation stammen. Absolut ungelüftete Neubauten mit dichten Türen wie Nr. 73 und 84 hatten ebenfalls an beiden Meßpunkten B_S und C_S zwischen 0,050 und 0,075 m/sec.

Auch das Diagramm B_S (siehe Seite 37) aus den Messungen im Punkt B_S ähnelt den bisher besprochenen.

Die Meßwerte aus Stall 75 bleiben außerhalb, weil in diesem unterbelegten Stall (102 m³/GVE) alle Patentfenster geöffnet waren, was zu einer unverhältnismäßig großen Abkühlung führte.

Nr. 64 und 68 zeichneten sich dadurch aus, daß der kondensierte Wasserdampf an den Wänden, bis herab zu 70 cm Höhe, wie Rauhreif gefroren war. Die Messung an der vereisten Wand ergab bei - 13 °C Außentemperatur im Stall 64 eine Temperatur von 0 °C und eine Abkühlungsgröße von 12,1, während im Stall 68 die Abkühlungsgröße an der eisigen Wand mit 10,6 sogar niedriger war als in einer anderen Bucht, obwohl dort die Temperatur um 2 °C tiefer lag.

Von diesen Extremen abgesehen, lagen die übrigen 26 Werte der Abkühlungsgröße zwischen 6,5 und 10,3.

Der Temperaturbereich erstreckte sich von 10 °C bis 14 °C. Der aus 29 Werten errechnete Durchschnitt liegt hier bei 8,25, für die Temperatur bei 9,4 °C. Die Windgeschwindigkeit schwankte zwischen 0,050 und 0,157 m/sec. Letzteren Wert erhielt ich in dem überbelüfteten Stall 75.

Als Mittelwert errechnete ich 0,093 m/sec. Hier wie an den anderen Meßpunkten A_R , B_R , C_S habe ich vergleichend ebenso geringe Unterschiede in den Luftbewegungen zwischen gelüfteten und ungelüfteten Ställen festgelegt. Parallelen zu dem von R o l l e (26), O b e r (21) und anderen Autoren anerkannten Lüftungsindikator CO_2 -Gehalt konnte ich nicht in genügender Zahl finden.

In Kuhställen war in 34 Fällen die Abkühlungsgröße an der Wand größer, in 22 Fällen kleiner als zwischen den Tieren. Durchschnittlich lag sie an den Punkten A_R bei 8,15 und an den Punkten B_R bei 7,75, also nur um 0,4 niedriger.

Als Temperaturmittel wurden bei A_R 11,15 °C und in B_R 12 °C errechnet. Die Temperatur lag zwischen den Tieren im Mittel, also nur knapp 1 ° höher als an der Wand.

Diese Feststellung überrascht, da man im Winter 20 cm von einer Außenwand zumindest in der Abkühlungsgröße größere Unterschiede gegenüber der Stallmitte erwartet hätte.

In 22 von 56 Fällen wurden an der Wand sogar höhere Lufttemperaturen festgestellt.

Die annähernde Gleichheit in der Streuung zwischen den Diagrammen A_R und B_R läßt nebenbei den Schluß zu, daß die Katathermometermessung zwischen den Tieren keinen größeren Zufälligkeiten unterworfen ist als außerhalb ihrer Reichweite. Es fällt auf, daß bei insgesamt 87 Katathermometermessungen (ohne Kontrollen) in Schweineställen nach der Auswertetabelle die Windgeschwindigkeit nicht mehr ermittelt werden konnte, während dies bei 190 Messungen in Kuhställen 16 mal der Fall war. In letzteren habe ich insgesamt 112 mal Windgeschwindigkeiten unter 0,1 m/sec ermittelt, in Schweineställen 51 mal.

Weil die Meßpunkte so gewählt worden waren, daß an mindestens einem Punkt das Katathermometer in einem lüftungsbedingten Luftstrom hing, fand ich bei 40 Schweineställen 14, unter 60 Kuhställen nur 11 Ställe, in denen an allen Punkten unter 0,1 m/sec gemessen wurde.

Es sind darunter aber nur drei Ställe aus der Tabelle D (ohne Lüftung) und zwar 18, 29, 42, während Nr. 1, 10, 16, 33, 34, 40, 46 und 58 zumindest teilweise geöffnete Fenster, Türen oder Tonröhren und Heulöcher haben und sich durch einen CO_2 -Gehalt von 0,1 bis höchstens 0,3 % auszeichnen. Es ist also keineswegs so, daß nur in ungelüfteten Ställen weniger als 0,1 m/sec vorkommen.

In dicht verschlossenen Ställen bleiben die Windgeschwindigkeiten unter 0,1 m/sec, wie die Ergebnisse aus 75, 18, 42 und 29 beweisen. Es kann also angenommen werden, daß von außen annähernd unbeeinflusste thermische Strömungen innerhalb des Stalls die Größenordnung von 0,1 m/sec nicht überschreiten. Ein Zusammenhang mit der Größe des Raumes und der Belegung ist hier nicht zu erkennen, wenn auch vorstellbar ist, daß diese Faktoren und auch das Wärmegefälle die Stärke der Strömungen beeinflussen können.

Scholz und Pechert (30) verlangen möglichst viele Meßpunkte, die mit Hilfe eines Rasters in den Stallplänen festgelegt werden sollen.

Auch Fuhrmann (9) hält wegen der von Meter zu Meter wechselnden Verhältnisse die Vornahme von vielen Messungen für vorteilhaft. Wie wichtig der Ort der Messung für einen gerechten Beurteilungsversuch des Stallklimas ist, kann hier vor allem aus Stall 6 ersehen werden.

Nach der ortsüblichen Methode war nur im sogenannten Futtergang eine intensive Querlüftung durch eine offene Tür und ein kleineres Fenster vorhanden, die aber in dem überbelegten Stall ($12,0 \text{ m}^3/\text{GVE}$) einen sehr guten CO_2 -Gehalt von 0,08 % bewirkte. An der geöffneten Tür maß ich 0,2 m/sec, außerhalb der Zugrichtung an 2 gegenüberliegenden Wänden nur 0,09 und 0,06 m/sec zwischen den Tieren. Ähnliche Verhältnisse bestanden auch in den Ställen 24, 28, 39 und 45, wo im Futtergang Windgeschwindigkeiten von 0,33 bis 0,16 gemessen wurden, während an den anderen Stellen im Stall die Werte unter 0,1 blieben.

Der CO_2 -Gehalt, jeweils hinter den Tieren gemessen, blieb unter 0,2 %.

Es geht also nicht an, aus einer Einzelmessung der Windgeschwindigkeit im Stall die Lüftungsverhältnisse beurteilen zu wollen.

Interessant ist ein Vergleich zwischen den annähernd gleichgroßen Stallungen 20, 21 und 22. Sie wurden bei $+1,5^\circ\text{C}$ Außentemperatur und 95 % Außenfeuchte nacheinander in derselben Nacht untersucht.

Auch außerhalb der Situation im Zeitpunkt der Messung möchte ich aus meiner 7jährigen Kenntnis dieser Nachbargehöfte den Stall 20 als den mit dem subjektiv schlechtesten Stallklima bezeichnen. Nr. 21 und 22 hinterließen, wie auch hier, immer den besten Eindruck.

Die einzelnen Daten sind aus der folgenden Tabelle VII zu ersehen:

T a b e l l e VII

Stall $\frac{m^3}{GVE}$	P	IT	IF	v	CO ₂ -Gehalt		Ak	Lüftung
Nr.		°C	%	m/sec	1 m	Decke		
20 18,3	A	18	90	0,083			5,8	Dicht!
	B	18	93	0,143	0,35	0,60	6,5	
	C	16	81	0,087			6,5	

21 22,6	A	14	60	0,128			7,7	6 Tonröhren +
	B	12	74	0,122	0,10	0,10	8,3	1/2 Tür + 1/2
	C	9	74	0,190			10,3	Fenster offen

22 20,6	A	10	76	0,081			8,3	2/2 Fenster +
	B	11	85	0,131	0,12	0,10	8,8	Luftschacht
	C	9	85	0,178			10,1	offen

Zwischen den Tieren im Stall 20 ist $v = 0,14$ m/sec auffallend. Sie ist in den gelüfteten Ställen kleiner.

Der Luftabfluß durch einen wandständigen Schacht mit Zufluß durch 2 gegenüberliegende Fenster läßt 2 m neben der Schachtoffnung anscheinend eine ruhigere Zone. Der dort um 9 % niedrigere Feuchtigkeitsgehalt fällt auf.

In dem von allen Seiten gleichmäßig durchlüfteten Stall 21 ist v an allen 3 Meßstellen größer als 0,1 und kleiner als 0,2 m/sec. Die Luftbewegung war für den Beobachter nicht als Zug zu empfinden. Wir haben hier ein Musterbeispiel, wie in kleineren Ställen mit einfachen Mitteln ein optimales Stallklima zu schaffen ist. Windgeschwindigkeiten in dieser Größenordnung können also bei einem Temperaturgefälle von 10 °C als empfehlenswert angesehen werden.

Sie sind zur Unterschreitung von 0,2 % CO_2 -Gehalt aber nicht unbedingt erforderlich (siehe Stall: 7; 10; 17; 30; 31; 33; 34).

Ich möchte dieses Kapitel nicht ohne eine kritische Betrachtung abschließen:

Für den wichtigsten Punkt eines Kuhstalles, den Punkt B, an dem die Tiere stehen, errechnete ich eine mittlere Windgeschwindigkeit von 0,086 m/sec oder 0,3 km/std. Nimmt man an, daß diese Luftbewegung gleichmäßig und gerichtet ist, dann müßte sich also ein Luftkubus von Stallgröße in der Stunde um 300 m fortbewegen, oder - anders ausgedrückt - würde diese Geschwindigkeit genügen, um einen beiderseits offenen Stall von 6 m Tiefe 50 mal zu passieren. Das käme einem 50maligen Luftwechsel (nach Rolle (26) und Ober (21)) gleich und würde die von Rolle (26), Frank (8), Münsterer (18) und Ober (21) festgestellte Luftwechselrate in Stallungen im Winter um das 10 bis 50fache übersteigen. Auch aus der unterschiedlichen Stärke der Windgeschwindigkeit innerhalb des Stalles geht hervor, daß es sich um keine kompakte, kontinuierliche Fortbewegung handeln kann.

Es können also die gemessenen Winde nur thermische Vertikalströmungen oder Wirbel oder wahrscheinlich eine Mischung beider sein.

Am Tanz der Staubkörnchen in einem Lichtstrahl kann man die wirbelnde, un-
stetige Fortbewegung der Luft in Stallungen leicht erkennen.

Aus der Stärke einer Wirbelung kann aber nur bedingt auf den damit verbundenen Effekt in Form von Luftwechsel geschlossen werden, wie die Versuche von Nusslag und Bachmann (20) in der Rauchkammer zeigen. Damit erscheint auch die genaue Angabe der Luftgeschwindigkeit in unserem Falle nur bedingt berechtigt.

Weiter ist die Höhe der Fehlergrenzen zu berücksichtigen, die Fuhrmann (9) mit 0,02 m/sec angegeben hat. Ich halte diesen Wert für zu niedrig, weil sich zu den Fehlern an der Stoppuhr, der Temperaturanzeige und -ablesung die durch äußere Umstände bedingten allgemeinen Ungenauigkeiten und der noch ungeklärte Einfluß der Ultrarotstrahlung auch bei mehrmaliger Kontrolle durchaus einseitig gesellen können. Besonders der Ungeübte wird mit $\pm 0,02$ m/sec Schwankungen rechnen müssen.

Aus allen diesen Gründen halte ich die Angabe der Windgeschwindigkeit in Stallungen nur in Dezimetern/sec für die Praxis als ausreichend.

Durch alleinige Berücksichtigung der Abkühlungsgrößen gelang es mir nicht, das Stallklima zu klassifizieren. Jedoch ist eine gewisse Beurteilung der Lüftungsverhältnisse möglich, wenn die Werte aus einzelnen Meßpunkten in einem Stall um mehr als 2-3 differieren.

Im allgemeinen kann daraus geschlossen werden, daß Unterschiede in der Luftströmung bis zu 0,2 m/sec herrschen, welche je nach Temperatur zumindest beim Menschen ein unangenehmes Zugluftgefühl bewirken können.

Wegen der Temperaturabhängigkeit der Abkühlungsgröße und der bis 20 Grad schwankenden Innentemperaturen im Stall halte ich die Angabe von Maximal- und Minimalwerten der Abkühlungsgröße nur unter jahreszeitlicher Gebundenheit für sinnvoll. Unter dieser Bedingung erscheinen mir Abkühlungsgrößen zwischen 7 und 10, sowie Windgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,2 m/sec als vertretbare Grenzwerte.

Bradtke (2) hat in zahlreichen Versuchen am Menschen die zur behaglichsten Stirntemperatur von $31,5^{\circ}\text{C}$ gehörige Lufttemperatur T und die Abkühlungsgröße A_k zusammengestellt und gefunden, daß in einem ziemlich weiten Temperatur- und Windgeschwindigkeitsbereich der Quotient T/A_k sich viel weniger ändert als die Abkühlungsgröße selbst. Er nannte diesen Quotienten Behaglichkeitsziffer B . Nach seinen Ermittlungen liegt der beste Wert bei

$B = 3$	
$B = 5$	ist zu warm
$B = 2$	ist zu kühl,

Selbstverständlich sind objektive Behaglichkeitsfeststellungen beim Tier nicht möglich; so, daß vielleicht ein einziges Instrument allein eine Klimasummengröße als zahlenmäßigen Ausdruck des Behaglichkeitsbegriffes liefern könnte. Andere Faktoren wie Feuchte und CO_2 -Gehalt müssen unbedingt berücksichtigt werden.

Trotzdem reizt der Begriff "Behaglichkeitsziffer" zur Übertragung auf stallklimatische Untersuchungen, weil der Zweck dieser Untersuchungen ja darin besteht, es dem Tier so behaglich zu machen, daß es zu höchsten Leistungen befähigt wird.

Ich habe deshalb 277 Behaglichkeitsziffern bestimmt und deren Aussage für Beurteilung des Stallklimas untersucht. Es wurden Werte zwischen 0,20 und 3,20 gefunden. Der Durchschnitt lag bei 1,33.

Das entspricht einem Temperaturdurchschnitt von $10,5^{\circ}\text{C}$ und einer durchschnittlichen Abkühlungsgröße von $A_k = 7,9$ in Rinder- und Schweineställen zusammen.

Vergleicht man die gefundenen Werte aus den einzelnen Stallungen in bezug auf ihre Aussagekraft über das Stallklima, so lassen sich keine Gesetzmäßigkeiten finden. Da sich die Werte der Abkühlungsgröße im Stall im allgemeinen in einem relativ engen Rahmen zwischen 6,0 und 12,0 halten und selbst temperaturabhängig sind, zeigt sich, infolge der Definition $B = T/A_k$, nur ein Gleichlauf mit den Werten der Temperatur.

Grundsätzlich scheint sich die Bestimmung der Behaglichkeitsziffer, die in der Wohnungshygiene und der Heizungskunde gern verwendet wird, für die Stallhygiene aus folgenden Gründen nicht zu eignen:

- 1.) Subjektive Empfindungen können vom Tier nicht mitgeteilt werden.
- 2.) Es muß in Stallungen mit Temperaturen von 0°C gerechnet werden. In diesem Fall ist der Zähler des Bruches und damit auch der Quotient gleich Null. Es müßte also mit der absoluten Temperatur gerechnet werden.
- 3.) Die jahreszeitlichen Schwankungen sind zu groß. Nach meinen Untersuchungen sind im Winter Innentemperaturen von 8°C mit einer Abkühlungsgröße $A_k = 8$ und 12°C mit einer Abkühlungsgröße $A_k = 6$ häufig vorkommende Konstellationen. Daraus errechnen sich Behaglichkeitsziffern von 1 und 2. Im Sommer jedoch ergäbe sich z. B. die Behaglichkeitsziffer 2 bei einer Temperatur von 24°C erst bei einer Abkühlungsgröße $A_k = 12$, was eine Windgeschwindigkeit von 3,12 m/sec bedeuten würde.

Umgekehrt wäre bei einer Windgeschwindigkeit von 0,1 m/sec die Behaglichkeitsziffer dann $BZ = 6$. Die Behaglichkeitsziffer ist in geschlossenen Stallungen überwiegend von der Temperatur und viel weniger von der Luftgeschwindigkeit abhängig.

Die Bestimmung der Behaglichkeitsziffer erlangt nur in einem engen Temperaturbereich Bedeutung. (Wohnungen, Arbeitsplätze etc.) In der Veterinärmedizin könnte sie für vollklimatisierte Ställe (Zoo, Versuchstiere) verwendet werden.

B) Begleituntersuchungen

Um die Zusammenhänge zwischen Abkühlungsgröße und Stallklima überhaupt beurteilen zu können, mußte dieses nach den üblichen Methoden durch Messung der Temperatur, der relativen Feuchte und des CO_2 -Gehaltes in den untersuchten Ställen mit bestimmt werden.

Meine Versuche, den Einfluß der Lüftung auf die Abkühlungsgröße zu ergründen und Parallelen oder Ursachen für ihre innerhalb der temperaturbedingten Grenzen unregelmäßig auftretenden Werte zu finden, führten notwendigerweise zu bestimmten Gruppierungen der untersuchten Ställe.

Ich stellte sowohl Rinder- als Schweineställe mit und ohne Lüftung einander gegenüber, untersuchte Ställe mit Abluftschächten und solche mit Holzdecken, sowie Schweineställe mit massiven und offenen Trennwänden, im Bestreben, einen bestimmten Einfluß einer dieser Faktoren auf die Abkühlungsgröße zu entdecken. Diesen Bemühungen war nur geringer Erfolg beschieden. Es ergaben sich jedoch dabei im Hinblick auf CO_2 -Gehalt und Luftfeuchtigkeit einige bemerkenswerte Beobachtungen, die ich im folgenden näher beschreiben möchte.

Rinderställe ohne Lüftung

Von 60 Rinderstallungen waren im Untersuchungszeitraum 10 überhaupt nicht und 5 nur sehr gering gelüftet. Die wichtigsten Meßwerte und Angaben aus diesen 15 Ställen sind aus der folgenden Tabelle Nr. VIII zu entnehmen.

T a b e l l e VIII

Stall Nr.	$\frac{m^3}{GVE}$	IF%		CO ₂ -Gehalt		Ak Pkt B	Bemerkungen
		Pkt A	Pkt B	1 m	Decke		
13	19,5	95	100	0,27	0,20	8,3	
15	22,8	84	96	0,15	0,17	8,0	8 undichte Fenster und Türen
20	18,3	90	93	0,35	0,60	6,5	
25	8,5	92	98	0,35	0,40	6,6	
29	27,2	90	93	0,57	0,65	7,7	
31	12,6	90	94	0,20	0,20	7,9	undicht, alt, Holz und Lehm
35	27,6	85	87	0,10	0,10	10,7	
36	26,7	96	98	0,50	0,50	7,4	
42	20,3	97	96	0,40	0,50	5,4	
43	31,6	75	80	0,30	0,35	9,7	4 undichte Türen
18	25,8	97	98	0,37	0,47	6,1	
32	13,1	100	100	0,35	0,60	6,3	
54	19,8	100	97	0,37	0,40	6,5	
55	36,0	88	95	0,42	0,45	7,6	
56	28,5	98	99	0,45	0,50	7,7	

Aus der Tabelle VIII ist folgendes zu entnehmen:

In den zuerst aufgeführten 10 Ställen waren alle Fenster, Türen, Tonröhren und Heulöcher geschlossen.

Stall 15 hat jedoch viele undichte Türen und Fenster, die bei herrschendem NW Wind von 4 m/sec einen kräftigen Luftaustausch vermittelten.

Der enge, finstere und überbelegte Stall 31 ist das älteste untersuchte Gebäude. Es ist in der alten Fachwerkbauweise aus Lehm und Holz mit Bretterdecke gebaut. Auf Grund der guten natürlichen Ventilation und zweier undichter Türen ist der CO₂-Gehalt relativ niedrig.

Stall 35 wurde wahrscheinlich kurz zuvor gelüftet. Der Besitzer wollte nachts um 3, 30 Uhr bei den Messungen dabei sein. Die hohe Abkühlungsgröße läßt auf eine frische Turbulenz der Luft schließen.

Stall 43 hat trotz überwiegend nasser Sandsteinwände im Vergleich zu den anderen Stallungen wenig Innenfeuchte. Er hat sehr alte undichte Fenster und Türen und ist verwinkelt. Warum die natürliche Ventilation hier hauptsächlich die Feuchtigkeit positiv beeinflußt, war nicht erkennbar. Die schwache Belegung des Stalles mag mit dazu beigetragen haben.

Stall 55 machte beim Betreten einen besseren Eindruck als die Messungen rechtfertigten. Man tritt zuerst in den Pferdestall, der zu einem Drittel durch eine deckenhohe Wand vom Kuhstall getrennt ist. Hinter den Pferden war ein Klappfenster etwa handbreit geöffnet; die Türen befinden sich ebenfalls in diesem Teil des Stalles. Die guten Möglichkeiten zur Querlüftung im Kuhstall wurden wegen der Angst vor Erkältung nicht genutzt. Der Luftraum pro GVE schwankte in diesen Ställen zwischen $8,5 \text{ m}^3$ und $36,0 \text{ m}^3$ mit einem Mittelwert von $22,3 \text{ m}^3$. Die relative Feuchtigkeit lag mit zwei Ausnahmen durchweg um 91 und 95 %. Feinere Unterscheidungen zu treffen, halte ich wegen der Ungenauigkeit der Hygrometerwerte kurz vor dem Taupunkt für abwegig.

Der durchschnittliche CO_2 -Gehalt wurde in der Gruppe "ungelüftete Stallungen" (Tabelle VIII) mit

0,34 % in 1 m Höhe und
0,40 % unter der Decke

ermittelt.

Läßt man die drei erläuterten Ausnahmen 15; 31; 35 außer Betracht, so zeigt sich, daß mit jetzt

0,39 % in 1 m Höhe und
0,47 % unter der Decke

der CO_2 -Gehalt in den ungelüfteten Ställen jeweils doppelt so hoch ist als in den übrigen, mehr oder weniger intensiv gelüfteten 45 Stallungen.

Die relative Feuchtigkeit übersteigt das in allen 60 Stallungen ermittelte Durchschnittsmaß von 86,5 % um etwa 5 bis 9 %.

Das Maß der Lüftung wirkte sich in den untersuchten Rinderstallungen eindeutig auf den CO_2 -Gehalt der Luft aus; hingegen erbrachte eine gute Lüftung

nicht unbedingt einen geringen Feuchtigkeitsgehalt.

Hier wirken noch andere unwägbare Faktoren wie Sauberkeit, Wasserquellen im Stall, Jaucheabfluß und nicht zuletzt das Außenklima mit.

Rinderställe mit Holzdecke

Von insgesamt 60 untersuchten Rinderstallungen waren sechs mit einer Decke aus Balken und Brettern versehen. Auf allen Decken war zur Zeit der Untersuchung Stroh oder Heu gelagert. Die folgende Tabelle IX gibt einen Überblick über die wichtigsten Meßwerte und Angaben.

T a b e l l e IX

Stall Nr.	$\frac{m^3}{GVE}$	IF%		CO ₂ -Gehalt		Ak	Lüftung
		Pkt A	Pkt B	1 m	Decke	Pkt B	
10	45,8	82	88	0,13	0,14	7,2	+
24	8,8	74	74	0,15	0,10	6,8	+
25	8,5	98	92	0,35	0,40	6,6	-
31	12,6	90	94	0,20	0,20	7,9	-
51	24,6	93	89	0,45	0,40	6,5	+
53	22,1	81	83	0,30	0,25	7,9	+

Der Einfluß einer Holzdecke auf das Stallklima in Rinderstallungen läßt sich aus diesen 6 Beispielen in der Tabelle IX nicht schlüssig nachprüfen, weil zu unterschiedliche Bedingungen in bezug auf Bauweise, Belegung und Lüftung vorliegen. Es kann jedoch aus Stall 25 ersehen werden, daß auch eine undichte, mit Stroh gedeckte Bretterdecke die fehlende Lüftung und die Überbelegung nicht ausgleichen können.

Schweineeställe ohne Lüftung

Von 40 untersuchten Schweineeställen waren im Untersuchungszeitraum 20 nicht gelüftet. Lüftungseinrichtungen sind entweder nicht vorhanden oder waren geschlossen.

In den Schweineeställen habe ich mir nach einigen Untersuchungsgängen keine Notizen mehr über subjektive Empfindungen beim Eintritt in den Stall gemacht, weil die Luftfeuchte fast immer Waschküchencharakter hatte und der besonders intensive Schweinegeruch fast allen gutgelüfteten Ställen ebenfalls anhaftete. Die gemessenen Werte sind in Tabelle X zusammengestellt.

Tabelle X

Stall Nr.	$\frac{\text{m}^3}{\text{GVE}}$	IF%		CO ₂ -Gehalt		Ak	Bemerkungen
		Pkt				Pkt	
		C	B	1 m	Decke	C	
63	151,4	90	93	0,10	0,15	9,3	unterbelegt
64	59,0	85	97	0,10	0,22	12,1	
66	75,0	99	100	0,20	0,30	10,7	
68	100,0	84	94	0,70	1,20	11,1 (B)	Einstreu sehr naß Holzdecke, undicht Futterküche nebenan dicht
69	89,0	75	83	0,50	0,42	8,2	
70	154,0	96	95	0,20	0,20	7,4	
72	51,6	85	97	0,20	0,25	8,3	Holzdecke unterbelegt
73	44,9	100	100	0,40	0,30	7,0	
74	32,2	100	98	1,35	1,40	6,0	
84	46,2	100	99	0,45	0,45	7,4	Holzdecke unterbelegt
85	54,7	96	97	0,67	0,67	7,9	
87	77,0	92	95	0,18	0,20	9,4	
88	150,0	96	93	0,42	0,45	8,5	sehr undichte Tür unterbelegt u. Holzdecke unterbelegt, dicht
92	76,6	98	99	0,60	0,60	7,9	
93	69,5	89	95	0,40	0,37	7,7	
94	46,0	84	91	0,52	0,40	8,5	
95	84,5	85	90	0,27	0,30	9,4	
96	55,0	95	96	0,20	0,20	8,5	
97	120,0	90	89	0,18	0,20	10,0	
99	135,0	91	87	0,32	0,30	8,8	

Wie aus Tabelle X hervorgeht, waren die Ställe 63; 70 und 97 stark unterbelegt. Sie können für einen Vergleich nur bedingt herangezogen werden.

Mindestens bei Stall 70 und 97 müßten sich bei Verdoppelung der Belegung auf das durchschnittliche Maß von $70 \text{ m}^3/\text{GVE}$ dann CO_2 -Werte von über 0,3 % ergeben.

Stall 63 hat ein $0,3 \text{ m}^2$ großes Loch zum Pferdestall, das evtl. für die guten CO_2 -Verhältnisse verantwortlich ist, obwohl ich während der Untersuchung durch Rauchproben keinen Luftaustausch festgestellt habe. Eine besonders ungeschickt angeordnete Eingangstür verhinderte zudem ein schnelles Eintreten, so daß ziemlich Frischluft einströmen konnte.

Ähnlich wurde auch die CO_2 -Messung im Stall 64 beeinflusst, wo der neugierige Besitzer während der Messung ein- und austrat. Wie schon erwähnt, mußte sich das bei einem Stall von nur 4 m Länge bemerkbar machen.

Stall 96 ist einer der schlechtesten (Ratten, dumpf, tropfnaß, dunkel). Hohe Feuchtigkeitswerte waren zu erwarten. Die niedrigen CO_2 -Werte lassen sich ebenfalls nur durch Beeinflussung von der Tür erklären, deren Undichtigkeiten in dem kleinen Stall (60 m^3) einen regen Luftaustausch erlauben.

Die Ställe 72; 87; 97 haben eine Bretterdecke, die in dem unterbelegten Stall 97 mit Stroh bedeckt ist.

Stall 74 habe ich sechs Stunden lang abdichten lassen, um später die Wirksamkeit des Ventilators überprüfen zu können. Die Tiere litten bereits unter Atemnot. Das Arbeiten war sehr erschwert und führte zu Beklemmungen. Die CO_2 -Konzentration an der Decke konnte nicht mehr abgelesen werden. Sie überstieg nach 4 Hüten 1,4 %.

Der vorhandene Luftraum pro GVE schwankte in den o. a. Ställen zwischen $151,4 \text{ m}^3$ und $32,2 \text{ m}^3/\text{GVE}$.

Es ist auffallend, daß die stärker belegten Ställe die gelüfteten sind. Dafür errechnete ich eine Belegung von $56 \text{ m}^3/\text{GVE}$. In den schwächer belegten Ställen verzichtete man also auf eine Lüftung zugunsten der Wärmeeerhaltung. Von den begründeten Ausnahmen abgesehen, erreichen und übersteigen die CO_2 -Werte jeweils 0,3 %. In 2 krassen Fällen wurde unter der Decke sogar über 1,35 % gemessen.

Durchschnittlich ergaben sich in 1 m Höhe Werte von 0,37 % und unter der Decke 0,43 % CO_2 -Gehalt.

Läßt man die unterbelegten und die Ställe mit gut ventilierender Holzdecke außer Betracht (63; 70; 72; 87; 97), so ergeben sich für die restlichen 15 absolut ungelüfteten Stallungen sogar Werte von 0,45 % und 0,50 %. Das ist im Vergleich zu den Mittelwerten der übrigen 20 Ställe das Doppelte.

Für die Beurteilung der Feuchtigkeit in den ungelüfteten Stallungen möchte ich nur die Werte aus Punkt C (Stallgasse) benützen, weil die Feuchtigkeit in den Buchten (z. T. mit hohen Backsteinwänden) zu sehr von den Ausscheidungen der Tiere beeinflusst wird. Das Tier lebt zwar unmittelbar in diesem Mikroklima. Für die Beurteilung eines ganzen Stalles sind diese Werte räumlich und zeitlich aber zu schwankend.

Ich werde in einer weiteren Zusammenstellung zu erläutern versuchen, inwieweit die Unterteilung eines Stalles durch hohe, dichte Buchtenwände zu Unterschieden im Feuchtegehalt führen kann.

In gelüfteten Ställen ergeben sich im

Punkt B _S durchschnittlich	91,5 % RF, im
Punkt C _S "	91,3 % RF.

In ungelüfteten Ställen ermittelte ich im

Punkt B _S durchschnittlich	94,5 % RF, im
Punkt C _S "	91,5 % RF.

Die Unterschiede sind zu klein, als daß daraus Schlüsse gezogen werden könnten. Nach meinen Erfahrungen gehören die ungelüfteten Stallungen auch zu den ungepflegteren, so daß eine Erhöhung der Feuchtigkeit in der Bucht auch mit darauf zurückgeführt werden könnte.

Analog den Verhältnissen im Rinderstall zeigt sich also auch hier, daß die Lüftungsintensität vornehmlichen Einfluß auf den CO_2 -Gehalt der Stallluft hat, während die Luftfeuchtigkeit innerhalb des Stalles im Winter nicht wesentlich beeinflusst wird.

Schweineställe mit Abluftschacht und sogenannten Entlüftungshauben

In den Ställen 71; 78 und 80 sind Abluftschächte eingebaut. Allerdings entsprechen sie nicht den von Ober (21) gestellten Forderungen. Sie sind entweder zu kurz (71 und 78) oder zu gering dimensioniert (78), und alle drei sind nicht isoliert. Der Schacht im Stall 71 ragt nur 1,50 m über Dachkante. Die Mündung liegt 5 m unter Giebelhöhe. Er ist aus Brettern montiert und nicht isoliert. Infolge des Temperaturgefälles von 7 °C und 4 ausgestellten Patentfenstern war der Luftzug stark. Stall 78 hat ebenfalls einen Holzschacht. Er ist 10 m hoch und mündet 2 m unter dem Giebel. Die lichte Weite ist 0,17 x 0,20 m. Isolation ist nicht vorhanden. Der Luftzug ist mir der Rauchprobe gerade noch erkennbar. Wasser tropft herunter. Zusätzlich sind zwei Fenster handbreit aufgeklappt.

Ein Holzschacht von 0,30 x 0,40 m ist in dem 32 Jahre alten Stall 80 über der Decke eingebaut. Er ist 10 m hoch und überragt die höchste Stelle des Daches um 1 m. Ein eingerosteter Schieber versperrt die halbe Weite. Der Luftzug ist stark. Ein halboffenes Fenster ist zusätzlich vorhanden.

In Tabelle XI sind die Werte aus diesen drei Ställen zusammengestellt.

T a b e l l e X I

Stall Nr.	$\frac{m^3}{GVE}$	IF%		CO ₂ -Gehalt		Lüft.	Bemerkungen
		Pkt					
		B	C	1 m	Decke		
71	32,8	90	88	0,15	0,20	++	
78	28,6	93	90	0,32	0,30	+	Futterküche angebaut
80	45,5	97	94	0,20	0,30	+	Futterküche angebaut

Wie aus Tabelle XI ersichtlich ist, brachte die Entlüftung durch einen Abluftschacht in der geschilderten Bauweise zusammen mit der Fensterlüftung erträgliche CO₂-Werte zwischen 0,15 und 0,30 %. Der Feuchtigkeitsgehalt lag jedoch am und über dem Durchschnitt aller Stallungen.

In drei Ställen fand ich sogenannte "Entlüftungshauben", die nach 1933 vom damaligen Reichsnährstand stark propagiert wurden. Diese haben die Form übereinandergestülpter Glocken und werden in etwa 2 m Höhe in der Außenwand angebracht. Sie sollen eine zugfreie Belüftung bewirken.

Die Meßwerte sind in der folgenden Tabelle XII zusammengefaßt.

T a b e l l e X I I

Stall Nr.	$\frac{\text{m}^3}{\text{GVE}}$	IF%		CO ₂ -Gehalt		Bemerkungen
		Pkt B	Pkt C	1 m	Decke	
79	59,0	88	83	0,20	0,20	1 E. -Haube. Zusätzlich Fst. auf Heraklithdecke
90	37,0	97	98	0,40	0,45	2 E. -Hauben nebeneinander + zusätzl. Fenster auf
91	58,0	90	83	0,20	0,20	1 E. -Haube ist 1/4 geöffnet Strohdecke 2,90 hoch. Keine sonstige Lüftung

Die niedrigeren CO₂- und Feuchtigkeitswerte sind in Stall 79 und 91 hauptsächlich auf die gut ventilierenden Decken zurückzuführen.

Der mit 37 m³/GVE am stärksten belegte Stall 90 war trotz zweier Hauben und Querlüftung sehr feucht und CO₂-haltig. Die sogenannten Entlüftungshauben ergaben eine Belüftung nur bei Winddruck. Rauchproben bestätigten diese Angabe der Besitzer.

Schweine­ställe mit Holz oder Heraklithdecke

Tabelle XIII

Stall Nr.	$\frac{m^3}{GVE}$	IF%		CO ₂ -Gehalt		Ak Pkt C	Bemerkungen
		Pkt					
		B	C	1 m	Decke		
61	70,5	98	98	0,12	0,12	8,7	Heraklithdecke, nasser Neubau. Fut- terküche!
67	34,2	80	71	0,17	0,20	9,2	Strohdecke, Lehm- wände.
72	71,6	97	85	0,20	0,25	12,1	
76	80,0	88	80	0,32	0,45	7,8	Heraklithdecke
79	59,1	88	83	0,20	0,20	9,7	Heraklithdecke
87	77,0	95	92	0,18	0,20	9,4	
91	58,2	90	83	0,20	0,20	8,9	Holzdecke m. Stroh
97	120,0	90	89	0,18	0,20	10,0	

Die Vorteile einer gut ventilierenden Stalldecke werden von R o l l e (26) und O b e r (21) besonders hervorgehoben. In obiger Tabelle XIII lassen sich die Auswirkungen von Bretter- und einfach verlegten Heraklithdecken auf das Stallklima ansehen.

Aus Tabelle XIII ergibt sich folgendes:

Unter 40 Schweineställen fand ich 5 mal Bretter- und 3 mal Heraklithdecken. Obwohl in den Ställen 72; 87 und 97 alle Lüftungseinrichtungen verschlossen waren, halten sich die CO₂-Werte mit einer Ausnahme (76) in guten Grenzen. Auch der Feuchtigkeitsgehalt bleibt mit zwei Ausnahmen (61 und 87) unter meinem ermittelten Durchschnitt für Schweinestallungen von 91 %.

An dem hohen Feuchtigkeitsgehalt in Stall 61 dürfte die angebaute Futterküche schuld sein. Beim Kartoffeldämpfen ziehen Dampfschwaden durch die offene Tür in den noch nassen Neubau. Die Steigerung des CO₂-Gehalts un-

ter der Decke bei Stall 76 dürfte weitgehend daher rühren, daß die Heraklithdecke sehr fugendicht verputzt ist. Auch deutet die kleine Abkühlungsgröße darauf hin, daß die Lüftung, trotz 4 Tonröhren und 2 schwach geöffnete Fenster, infolge besonderer Umstände hier nicht wirksam wird.

Der Einfluß einer gut ventilierenden Holz- oder Heraklithdecke macht sich auch im ungelüfteten Schweinestall durch eine positive Beeinflussung des CO_2 -Gehaltes geltend. Die gefundenen Werte liegen deutlich unter den Mittelwerten der übrigen 32 Stallungen. Eine Beeinflussung der relativen Luftfeuchtigkeit ist nur in drei Fällen (67; 76; 79) zu erkennen.

Schweineställe mit unterschiedlichen Buchten - Trennwänden

In der Tabelle XIV sind acht Neubauten und ein Umbau (85) aufgeführt, deren Buchtentrennwände hauptsächlich aus senkrechten Lattengittern bestehen. Die Luft kann hier fast ungehindert zirkulieren.

In Tabelle XV stehen 11 ältere Stallungen, deren Buchten durch z. T. manns- hohe massive Backstein- oder Betonwände voneinander abgetrennt sind. Diese Buchten sind einer zügigen Lüftung nicht so gut zugänglich.

Es war zu erwarten, daß auf Grund der auch in ungelüfteten Stallungen bestehenden thermisch bedingten Strömungen sich in den "durchsichtigen" Stallungen an den einzelnen Meßpunkten annähernd gleiche Werte ergeben würden.

Die Tabellen XIV und XV bestätigen die größere Divergenz der Werte in den abgetrennten Stallungen.

In der Stallgasse Punkt C ist es laut Tabelle XV ausnahmslos trockener. Es bestehen größere Unterschiede hinsichtlich der Feuchtigkeit als in Tabelle XIV. Die Temperatur ist in den Buchten beider Stallarten im allgemeinen ein wenig höher als in der Stallgasse. Der bessere Klimaausgleich in den offenen Stallbuchten ist aber auch hier erkennbar.

In der Abkühlungsgröße ergeben sich keine Differenzen zwischen den beiden Stalleinrichtungen.

Buchten - Abtrennung

Gatter

Tabelle XIV

Stall Nr.	IF		Ak		IT		Lüftung
	Pkt	Pkt	Pkt	Pkt	Pkt	Pkt	
	B	C	B	C	B	C	
	%	%			°C	°C	
61	98	98	8,1	8,7	10,5	9,5	+
66	100	99	10,0	10,7	4	3	-
73	100	100	6,5	7,1	14	13	-
74	100	100	6,0	6,0	17	17	-
74	100	100	6,0	6,0	17	17	-
74a	95	95	7,7	10,5	11	11,5	++
81	89	91	8,0	8,6	10,5	10	+
83	95	95	9,0	9,4	8	8	+
85	97	96	7,9	7,9	11	11	-
87	95	92	9,0	9,4	8	8	-

in Schweineställen

Massive Wände

Tabelle XV

Stall Nr.	IF		Ak		IT		Lüftung
	Pkt	Pkt	Pkt	Pkt	Pkt	Pkt	
	B	C	B	C	B	C	
	‰	‰			°C	°C	
65	93	75	9,7	9,7	8	6	+
64	97	85	10,1	12,1	2	0	-
71	90	88	8,7	9,5	10,5	11	++
77	91	85	7,9	8,9	9,5	9	+
90	97	98	8,3	9,3	11	11,5	+
91	90	83	9,4	8,9	9	7,5	+
92	99	98	7,8	7,9	11	11	-
94	91	84	8,2	8,7	10,5	12	-
95	90	85	8,0	9,4	10	10,5	-
93	96	95	8,2	8,5	8,5	8	-
98	96	95	8,5	8,0	10,5	10,5	+

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß eine Stallbauweise mit Gittertrennwänden einen besseren Feuchteausgleich innerhalb des Stalles ergibt.

Ventilatorlüftung in einem Schweinestall

In den beschriebenen Untersuchungen habe ich Feuchtigkeitswerte gefunden, die das von Klimmer und Schönberg (14), Sybek und Ober (37), Cords und Parchim (5) und Rolle (26) verlangte Maß überschreiten. Auch geht aus den Ergebnissen hervor, daß im Winter die Feuchtigkeit der Stallluft nicht ohne weiteres durch Lüftung herabgesetzt werden kann, beziehungsweise, daß eine Herabsetzung des CO_2 -Gehaltes viel leichter gelingt.

Um diese Zusammenhänge besser klären zu können, habe ich in einem Schweinestall, dessen verbrauchte Luft durch einen Ventilator abgesaugt wird, Messungen durchgeführt.

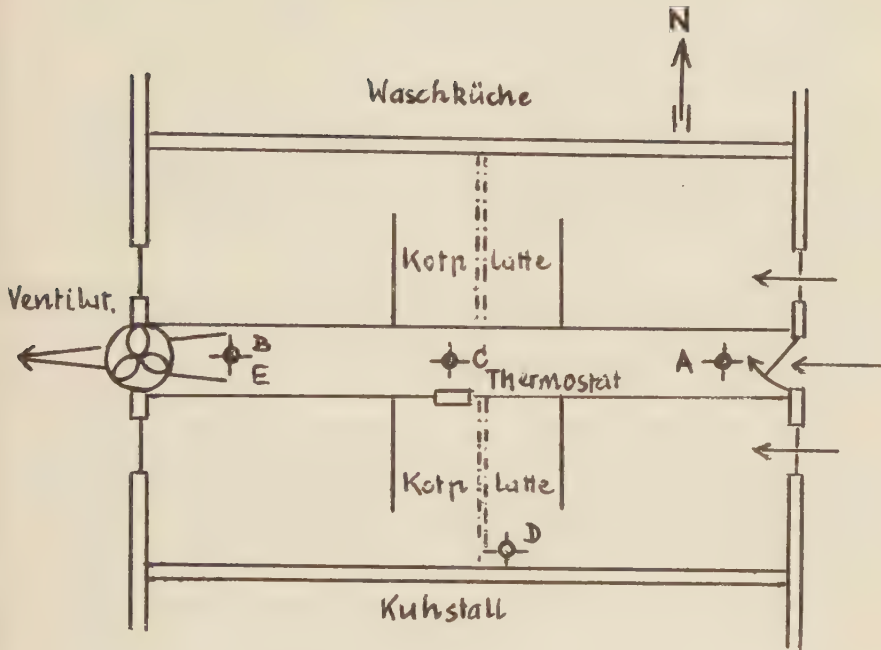
Ein ehemaliger Pferdestall von 174 m^3 Größe wurde für 40 Mastschweine umgebaut. Die Wände bestehen aus Sandstein, die Gewölbedecke aus Ziegeln.

Der Ventilator mit einer Leistung von $3750 \text{ m}^3/\text{h}$ ist in $1,80 \text{ m}$ Höhe in die Wand eingebaut und von 2 gut schließenden Fenstern flankiert. Gegenüber, am anderen Ende der Stallgasse, liegen die Türen und zwei regulierbare Klappfenster von je $0,25 \text{ m}^2$ Größe. Der Thermostat des Ventilators ist in Stallmitte in Kopfhöhe angebracht.

Der Stall hat einen Kubus von 174 m^3 . Bei einer Belegung mit 40 Schweinen von zusammen $5,4 \text{ GVE}$ ergibt sich daraus ein Luftraum von $32 \text{ m}^3/\text{GVE}$. Der Stall ist gut gepflegt. Die Buchten sind trocken. Die Kotplatten werden regelmäßig abgespritzt.

Skizze 2 zeigt die Anordnung des Thermostaten und die Lage der Meßpunkte im Stall 74.

S k i z z e 2



Die erste Meßreihe wurde am 6. 2. 60 nachts um 01. 40 h durchgeführt, nachdem der Stall 6 Stunden vorher abgedichtet worden war.

Außentemperatur: + 4 °C

Außenfeuchte: 90 %. Leichter NO Wind.

Die vor Einschalten des Ventilators an den einzelnen Meßpunkten erhaltenen Werte sind in Tabelle XVI aufgeführt.

T a b e l l e XVI

vor der Lüftung: Lage der Meßpunkte	IF %	IT °C	Ak	v m/sec
A = 20 cm hoch; 1 m vor d. Tür	99	15	7,7	0,16
B = 1 m vor d. Ventilator	100	17	5,9	0,07
C = Mitte Stallgasse; 1 m hoch	100	17	6,0	0,07
D = 1 m hoch; 20 cm von Südwand	100	17	6,0	0,07
E = 20 cm hoch; 1 m vor d. Ventilator	98	15	6,5	0,07
CO ₂ -Gehalt am Punkt C: > 1,35 %				

Wie aus Tabelle XVI ersichtlich ist, stieg in diesen 6 Stunden der CO_2 -Gehalt auf über 1,35 %. Unter der Decke war er nicht mehr ablesbar. Nach 4 Hüben zeigte das Röhrchen bereits 1,4 % an. Es dürfte sich also um ca 1,7 % gehandelt haben. Die Tiere zeigten leichte Atembeschleunigung und wechselten dauernd ihre Liegeplätze.

Der Taupunkt war überschritten. Der Wasserdampf kondensierte an Wänden und Decken, die noch sehr aufnahmefähig waren, weil der Stall erst vor drei Tagen belegt worden war. Es hatte sich also nach 6 Stunden ein extrem schlechtes Stallklima eingestellt.

Nun wurde der Ventilator eingeschaltet, die Türabdichtungen wurden entfernt und zwei Fenster schwach geöffnet, so daß insgesamt etwa 0,12 m² Fläche für den Eintritt der Frischluft verfügbar war.

Nach 30 Minuten Ventilatorrtätigkeit war der CO_2 -Gehalt am Punkt C auf 0,2 % gesunken. Ebenso an der Decke. Die Innenfeuchte sank nur auf 95 %, die Temperatur auf 11,5 °C. Die Windgeschwindigkeit stieg auf 30 cm/sec. Analog verliefen die Veränderungen an den anderen Punkten.

T a b e l l e XVII

nach der Lüftung: Punkt:	IF %	IT °C	Ak	v m/sec
A (nach 40 min)	94	9	12,3	0,38
B (nach 44 min)	94	11	11,4	0,38
C (nach 30 min)	95	11	10,5	0,30
D (nach 33 min)	95	12	7,7	0,09
E (nach 37 min)	91	11	12,3	0,56

CO_2 -Gehalt am Punkt C: 0,20 %

Die nach halbstündiger Ventilatorlüftung gemessenen Werte sind aus Tabelle XVII zu ersehen.

Es ergab sich also auch bei Ventilatorlüftung mit kleinem Zuluftquerschnitt eine gute Beeinflussung des CO_2 -Gehaltes, während die relative Feuchtigkeit nur um 5 % zurück ging.

Der Verdacht lag nahe, daß die hohe Luftfeuchte durch Verdampfen des vorher kondensierten Wasserdampfes aufrecht erhalten worden war. Bei längerer Arbeit des Ventilators müßten solche Wasserdampfserven jedoch abgeführt werden können. Um dies nachzuprüfen, habe ich 6 Wochen später bei annähernd gleicher Wetterlage eine weitere Meßreihe mit dem Polymeter am Punkt C aufgenommen.

Der Zuluftquerschnitt war inzwischen vom Besitzer auf $0,58 \text{ m}^2$ erweitert worden. Die Zahl der Tiere nat zugenommen, so daß jetzt etwa $29 \text{ m}^3/\text{GVE}$ zu veranschlagen sind.

Die am Punkt C erhaltenen Meßwerte sind in Tabelle XVIII auf Seite 64 zusammengestellt.

Es ist daraus ersichtlich, daß trotz - zum vorigen Versuch - verminderten Feuchtigkeitsgehalts der Außenluft die Innenfeuchte 90 % und mehr erreichte. Innerhalb der durch die Thermostatregelung gezogenen Temperaturgrenzen konnte die Innenfeuchte nicht unter das Maß der Außenfeuchte gedrückt werden. Der starke Luftwechsel hat jedoch zur Erzielung eines für günstig erachteten CO_2 -Gehaltes von 0,15 - 0,30 % genügt.

T a b e l l e XVIII

Außenfeuchte: 83 - 78 % schwankend
 Außentemperatur: + 3 °C; leichter N Wind.
 Alle Werte aus Stallmitte (Punkt C)

Ventilator	Schaltzeit	IF %	IT °C	CO ₂ -Gehalt %
ein	nach 2 min	86	14	0,30
===	nach 3 min	83	13,5	
	nach 4 min	81	13	
	nach 5 min	79	13	
	nach 6 min	78	13	0,20
	nach 6 1/2 min automatisch abgeschaltet			
aus	nach 1 min	80	12	
===	nach 2 min	83	12	
	nach 3 min	85	12,5	
	nach 4 min	86	12,5	
	nach 5 min	88	13	
	nach 6 min	90	13	
	nach 7 min	91	13	
	nach 8 min	91	13	
	nach 9 min	92	13	
	nach 11 min	92	13	
	nach 13 min	92	13,5	
	nach 15 min	93	14	0,25
	nach 17 min automatisch eingeschaltet			
ein	nach 1 min	92	14	
===	nach 2 min	89	13,5	
	nach 3 min	85	13	
	nach 4 min	83	13	
	nach 5 min	82	12,5	
	nach 6 min	80	12	0,18
	nach 7 min automatisch abgeschaltet			

V. ZUSAMMENFASSUNG

1. In 60 Rinder- und Schweinestallungen in der mittelbadischen Rheinebene wurden nachts bei Außentemperaturen zwischen -13 und $+6$ °C stallhygienische Messungen durchgeführt.
2. Zur Ermittlung des Stallklimas wurden in Rinderstallungen an mindestens drei, in Schweinestallungen an mindestens zwei kennzeichnenden Stellen die Temperatur, relative Feuchte, Abkühlungsgröße und die Windgeschwindigkeit ermittelt. Der CO_2 -Gehalt der Stallluft wurde in 1 m Höhe und 20 cm unter der Decke gemessen. Ferner wurden Außentemperatur und -feuchte, Größe, Bauweise und Baumaterial, sowie Belegung, Belichtung und Belüftung bestimmt.
3. In Vergleichsmessungen wurde das bisher verwendete "CO₂-Prüfröhrchen 0,5 %" dem neuen "CO₂-Prüfröhrchen 0,1a" gegenübergestellt. Letzteres erwies sich als genauer. Als sinnvolle Grenze der Meßgenauigkeit wurden für die Praxis Konzentrationsunterschiede von ganzen Promille ermittelt.
4. Die Intensität der Lüftung kam am besten im CO_2 -Gehalt der Stallluft zum Ausdruck. In 15 ungelüfteten Rinderställen war dieser fast doppelt so hoch wie in den übrigen 45 mehr oder weniger gelüfteten Stallungen. Ebenso verhielt es sich in Schweineställen.
5. In 34 von 60 Rinderställen und in 21 von 40 Schweineställen war der CO_2 -Gehalt unter der Decke höher als 1 m über dem Boden.
6. In schlecht gelüfteten Rinder- und Schweineställen lagen die Temperaturen unter der Decke im allgemeinen um 4 °C höher als in 1 m Höhe; in besser gelüfteten lagen sie nur um 1 - 3 °C höher.
7. In Rinderställen wurden durchschnittlich 86,5 %, in Schweineställen 91 % relative Feuchte gemessen. In gelüfteten und ungelüfteten Schweineställen war die relative Feuchtigkeit annähernd gleich hoch. Es konnte kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Innen- und Außenfeuchte beobachtet werden. Innerhalb der Ställe wurden an verschiedenen Punkten

bis zu 20 % Unterschied im Feuchtegehalt und bis zu 7 °C Unterschied in der Lufttemperatur gemessen.

8. In ungelüfteten Stallungen bis 200 m³ Größe blieb die Windgeschwindigkeit immer unter 0,1 m/sec. Es kann also angenommen werden, daß unter den vorliegenden Bedingungen die thermisch bedingten Luftbewegungen 0,1 m/sec nicht überschreiten.
Aus der Windgeschwindigkeit kann nicht unbedingt auf die Lüftungsintensität oder den CO₂-Gehalt der Stallluft geschlossen werden.
9. Windgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,2 m/sec sind bei einem Temperaturgefälle von ca 10 °C als wünschenswert anzusehen. Sie sind zur Unterschreitung von 0,2 % CO₂-Gehalt aber nicht in allen Ställen erforderlich.
10. Fehlergebnisse von $\pm 0,02$ m/sec können bei der Messung mit dem Katathermometer vorkommen. Es wird erläutert, daß feinere Unterscheidungen der Windgeschwindigkeit als in Dezimetern/sec nicht sinnvoll erscheinen.
11. In 34 von 55 vergleichbaren Fällen war die Abkühlungsgröße an der Wand höher als am Standplatz der Tiere, durchschnittlich jedoch nur um 0,40 mcal/cm²sec. Das entspricht rechnerisch dem gemessenen durchschnittlichen Lufttemperaturunterschied zwischen den beiden Meßpunkten. Die Abkühlungswirkung einer Stallwand kam also bei der Messung in 20 cm Abstand nicht zum Ausdruck.
12. Es wurde ausführlich dargelegt, daß die Abkühlungsgröße bei den im Stall gefundenen Windgeschwindigkeiten in bestimmendem Maße von der Temperatur abhängig ist.
13. Die Verwendbarkeit der Behaglichkeitsziffer für die stallklimatische Beurteilung wurde anhand von 277 eigenen Messungen geprüft und besprochen. Sie kann nur für bestimmte vollklimatisierte Ställe Bedeutung erlangen.
14. Durch alleinige Berücksichtigung der Abkühlungsgröße gelingt es nicht, das Stallklima zu klassifizieren. Deshalb kann auch eine Festlegung von Optimalwerten, wenn überhaupt, nur unter einschränkenden Bedingungen erfolgen.

Unter den vorgefundenen Verhältnissen erscheinen mir Abkühlungsgrößen zwischen 7, 0 und 10, 0, sowie Windgeschwindigkeiten zwischen 0, 1 und 0, 2 m/sec in Rinder- und Schweineställen als Optimalwerte.

VI. LITERATURVERZEICHNIS

1. Berg, H. Einführung in die Bioklimatologie.
H. Bouvier u. Co. Verlag, Bonn 1950.
2. Bradtke, F. u. Liese, W.
Hilfsbuch für raum- und außerklimatische Messungen.
Springer Verlag, Berlin 1952.
3. Buxtorf, A. Einführung des Katathermometers in die stall-
hygienische Meßtechnik.
Vet. med. Diss. Zürich 1942.
4. Cena, M. u. Courvoisier, P.
Die Bedeutung der ultraroten Wärmestrahlung für
die Abkühlungsgröße im Stall.
Schweizer Arch. f. T. H. Kde. 7, 1949.
5. Cords - Parchim
Handbuch des Landbaumeisters.
Naumann Verlag, Berlin 1952.
6. Deutsch, E. Untersuchungen über den Einfluß der Bauart der
Stallungen und der Führung des Stallbetriebs auf
die Beschaffenheit der Stallluft.
Vet. med. Diss. Berlin 1928.
7. Dorno
Über physikalische Grundlagen der medizinischen
Klimatologie.
Zs. physik. Therapie 36, 1929.
8. Frank, G. Untersuchungen der Stallluft und der Lüftungsein-
richtungen in Stallungen des Landkreises Kulmbach.
Vet. med. Diss. München 1951.

9. Fuhrmann Beitrag zur Bestimmung des Stallklimas.
Vet. med. Diss. Zürich 1944.
10. Goldinger Untersuchungen von Rinder- und Schweineställen
im Sinne der praktischen Stallkontrolle.
Vet. med. Diss. Zürich 1935.
11. Henneberger, Ch. Die Komponenten der Abkühlungsgröße.
Naturwiss. Diss. Basel 1949.
12. Hill, L. The Katathermometer in Studies of Body Heat and
Efficiency.
H. M. Stationary Office London, Spec. Rep. Ser. No. 73,
1923.
13. Hoffmann, P. Hyg. Luftuntersuchungen in Milchviehstallungen mit
Rücksicht auf die sogenannten Güllestallungen.
Dresden 1928.
14. Klimmer u. Schönberg Gesundheitspflege der landwirtschaftlichen Nutztiere.
Parey Verlag, Berlin 1924.
15. Lehmann, H. Mikroklimatische Untersuchungen der Abkühlungs-
größe in einem Waldgebiet.
Veröff. Geophysik. Institut der Universität Leipzig 7,
189, 1936.
16. Lehmeyer, B. Untersuchungen über den CO₂- und Wasserdampfgehalt
der Stallluft.
Vet. med. Diss. München 1927.
17. Misénard, A. La température résultante d'un milieu.
Chal. et Ind. 14/1933 Nr. 159.
18. Münsterer, F. Untersuchungen über Lüftungsverhältnisse in Rinder-
und Schweinestallungen.
Vet. med. Diss. München 1953.

19. Niehuess, H. Zeitgemäße Stallbauweise für landwirtschaftliche
Großtiere unter besonderer Berücksichtigung der
Lüftungseinrichtungen.
Diss. Bonn 1939.

20. Nussbag, W. und Bachmann, R.
Modellversuche zum Studium der Lüfterneuerung und
Luftbewegung in Tierställen.
Arch. Exp. Vet. Med. 882, 1956.

21. Ober, I. Gesundes Stallklima.
Bayr. Landw. Verlag Bonn-München-Wien 1957.

22. Pfeleiderer u. Büttner
Grundlagen der Hautthermometrie.
Barth, Leipzig 1935.

23. Pfeleiderer Kritische Betrachtungen über die Abkühlungsgröße.
Berichte des deutschen Wetterdienstes in der U. S.
Zone. Bad Kissingen Nr. 38, 1952.

24. Rietzler, I. Vergleichende Kohlensäure-Messungen nach Pet-
tenkofer und mit dem Draeger'schen Gasspürgerät
in Rinderstallungen des östlichen Allgäus.
Vet. med. Diss. München 1958.

25. Robitzsch, M. in Kleinschmidts Handbuch der meteorol. Instru-
mente, Berlin 1935, S. 208.

26. Rolle, M. Veterinärhygiene.
Vervielfältigt. Manuskript, München 1949.

27. Roose Eine neue Methode zur Bestimmung der Wand-
temperatur im Raumklima.
Schweizer Blätter für Heizung und Lüftung 5, 21,
49 (1938).

28. Rudzinski Untersuchungen über die Hauttemperatur bei Tie-
ren des Rindergeschlechts, gemessen mit dem
Thermoelement, und ihre Beeinflussung durch die
Umgebungstemperatur. Vet. med. Diss. Zürich 1944.

29. Schliffke Katathermometermessungen in Rinderstallungen mit besonderer Berücksichtigung der Hauttemperatur. Vet. med. Diss. Gießen 1948.
30. Scholz u. Pechert Problematik und Methodik von Klimauntersuchungen in Ställen. Archiv für Tierzucht 1, 1958.
31. Schulze Temperatur-Messungen im Innern der Haut und deren Beziehungen zur Abkühlungsgröße. Zs. Strahlentherapie 39, 1931.
32. Schultze, H. u. Märker, M.
 Über den CO₂-Gehalt der Stallluft und den Luftwechsel in Stallungen. Journal für Landw. 17, 1869, zit. von Deutsch.
33. Staffe Haustier und Umwelt. Verlag Haupt, Bern 1948.
34. Stietenroth, K. Die Lufttemperatur im Stall. Württ. landw. Wbl. 52, 1351, 1953.
35. Stietenroth, K. Hyg. u. wärmewirtschaftl. Forderungen beim Stallbau und Stallbetrieb. Landw. Jahrbuch 79, 1934.
36. Süpfle u. Hofmann Untersuchungsmethodik und hyg. Beurteilung der Stallluft. Zs. f. Tierzucht u. Zucht. Biol. 13, 1929.
37. Sybek, K. u. Ober, I.
 Die Klimatisierung der Viehställe. Züchtungskde. 19, 5/8, 1944.
38. Voit, K. Vergleichende Kohlensäure- und Luftfeuchtigkeitsmessungen in Rinderstallungen des Kreises Miesbach. Vet. med. Diss. München 1957.

39. Vollrath, A. Über die Beschaffenheit der Luft in Ställen mit permanenter und periodischer Streu.
Wschr. f. Tierheilkunde und Viehzucht 16, 1872.
40. Zorn u. Freidt Der Einfluß von Wetter und Klima auf unsere landwirtschaftlichen Nutztiere.
Ein Beitrag zur Haltungsfrage auf bioklimat. Grundlage.
Zs. f. Züchtungskunde 14, 1, 1939.
41. Zwicky, H. Meßtechnische Erfassung der Stallklimafaktoren.
Festschr. Prof. Dr. Bürgi, Zürich 1943.

Am Ende meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. A. M e y n dafür zu danken, daß er mir das Thema freundlicherweise überließ.

Besonderen Dank möchte ich auch Herrn Priv. Doz. Dr. K a l i c h aussprechen, der mir stets ein unermüdlicher und wertvoller Ratgeber war.

VII. LEBENSLAUF

Am 8. Januar 1927 wurde ich als Sohn des Bankbeamten Paul Krüger und seiner Ehefrau Elsa, geb. Wilhelm, in Meißenheim, Kreis Lahr in Baden, geboren.

Nach vier Jahren Grundschule besuchte ich die Oberrealschulen in Karlsruhe und Lahr und erhielt 1946 das Reifezeugnis.

Mit dem Sommersemester 1947 begann ich mein Studium an der Technischen Hochschule in München, wechselte dann zum Sommersemester 1948 an die tiermedizinische Fakultät der Universität München über und legte die tierärztliche Prüfung im August 1952 an dieser Fakultät ab.

Nach sechs Monaten Praktikum erhielt ich am 1. März 1953 die Approbation.

Seit 1954 arbeite ich in Ottenheim/Baden als praktischer Tierarzt.

